

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-281869  
(43)Date of publication of application : 07.10.1994

(51)Int.Cl. G02B 26/00

(21)Application number : 05-077112 (71)Applicant : TEXAS INSTR INC <TI>  
(22)Date of filing : 02.04.1993 (72)Inventor : JAMES M FLORENCE  
BOYSEL R MARK

(30)Priority

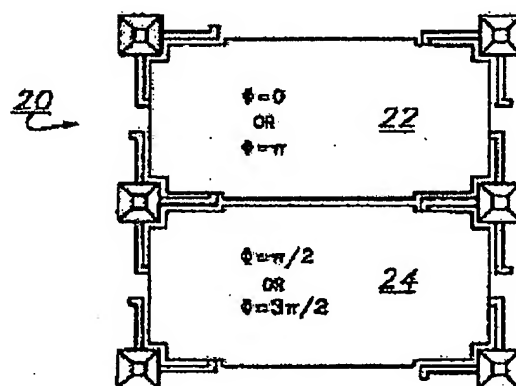
Priority number : 92 862933 Priority date : 03.04.1992 Priority country : US

(54) METHOD AND DEVICE FOR MULTI-PHASE OPTICAL MODULATION.

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide the method and device of multi-phase optical modulation.

CONSTITUTION: This method of the multi-phase optical modulation is provided with a step for disposing a picture element 20 provided with at least two modulation elements 22 and 24, the step for making light made incident to the address specified element receive noncontinuous phase change in an address specifiable state by address specifying the at least two modulation elements 22 and 24 and the step for resolving the light from the at least two modulation elements 22 and 24 to a response provided with at least three peculiar phases further. The other device, equipment and method are also presented.



**\* NOTICES \***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A step which allocates a pixel which has at least two modulation elements which can be switched between [ of at least two / addressable ] states, At least two modulation elements are addressed the first half when it can switch between [ of at least two / addressable ] states, A step from which light which enters into this modulation element receives a nonsequential phase change when this modulation element switches this few \*\*\*\* between [ of two / addressable ] states by it, A method of polyphase light modulation using an array of a pixel containing a step which resolves light from said at least two modulation elements to a single response which has at least three original phases.

[Claim 2]The 1st modulation element that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, Light which is the 2nd modulation element that adjoins this 1st modulation element, and that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, and entered into this 2nd modulation element, By making said 2nd modulation element formed so that phase contrast might be made to produce between light which entered into said 1st modulation element and received the operation, and \*\*, and said both modulation elements change physically, A polyphase optical modulator which has a pixel including an addressing circuit which exists in the lower part which is made to produce a nonsequential phase change corresponding to said at least two addressable states of these both modulation elements, and in which it deals.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]Although especially this invention is addressed by the discrete level address circuit, concerning polyphase form spatial light modulation generally, it relates to operation and manufacture of the optical modulator in which the polyphase state for light modulation is possible.

[0002]

[Description of the Prior Art]A spatial optical modulator (SLM) is a transducer which modulates incident light to the spatial patterns corresponding to an electric or optical input. Incident light has the phase, intensity, a bias, or a direction modulated, and the abnormal conditions of the light are performed with various materials in which various electrooptics or magneto optic effects are shown by the material which modulates light according to modification of the surface again, and it deals in them. SLM is variously applied in optical information processing, the projection display, and the field of electrostatic printing. 30 Please refer to the Reference documents quoted by the L.Hornbeck work "128x128 Deformable Mirror Device" cited in IEEE Tran.Elec.Dev.539 (1983).

[0003]Conventionally, in this field, in order for a binary optical modulator to realize many phases and/or amplitude states from two, many methods have been used. Although applied to the magneto optical modulator which is binary-like [ all these methods ] originally substantially, a certain thing is applied to other modulators which operate in binary simply, and it deals in it. Flannery of 27-4079 to Applied Optics 4083 (1988) printing "Transform-ratio Ternary Phase-amplitude Filter Formulation written by outside. for Improved Correlation. Discrimination" and Applied. Kast cited in Optics 28-1044-1046 (1989) "Implementation of Ternary Phase Amplitude Filters Using aMagneto optic written by outside. The method of using the ternary state of it being accessed in a magneto optical modulator and getting is explained to Spatial Light Modulator." The magneto-optics device operates by switching the direction of the magnetic domain in a penetrable garnet material. The direction of a magnetic domain can have only two states, and the peculiar binary

character of this device produces it by it.

[0004]The main fault of a binary hologram and a filter is that a certain hologram (or filter) and the binary display to the both sides of the complex conjugate are the same. This means that the both sides of the image for which it asks, and the copy (level and thing made reverse in vertical both sides) by which the image was reversed spatially are made to be generated, when a binary hologram is reproduced. In this reproduction, since that conjugate image is not given to said image as for the preference, either, the total energy of an output is divided equally to these images, therefore the efficiency of this process falls. Unless these two images are separated using special technology, such as spatial subcarrier abnormal conditions, these two reconstruction images overlap spatially mutually. Spatial subcarrier abnormal conditions reduce the overall efficiency of reconstructive processing further.

[0005]In Dickey and the Hanshe work "Quad-phase Correlation Filter Implementation" of possession in Applied Optics 28-4840-4844 (1989). In order to realize four phase levels to a correlating filter, the method of using a binary state magneto-optics device is explained. Detour phase approach is used for this method by operating the device by which the arylene was slightly carried out to the off-axis. The inclination used in order to give this misalignment gives  $\pi/2$  of phase contrast between the adjacent pixels in the modulator in a slope direction. If processing resolution is set so that the response from an adjacent pixel may be mixed together and a net response may be given, they will be four phase states. :

[External character 1]

$(\pm 1 \pm j) / \sqrt{2}$

(Namely,  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ ,  $5\pi/4$ , and  $7\pi/4$  radian) become possible. This technology requires dangerous alignment common difference.

[0006]In U.S. Serial Number 590,405 of September 28, 1990 application, Florence showed that all the complex light modulation was possible, when mixing the response of two adjoining phase modulation elements by analog addressing. Separate addressing of two modulation elements gives the flexibility 2 required to set the both sides of amplitude and a phase independently in the compounded pixel response. Although this method is very common and a perfect modulation range is given in the both sides of amplitude and a phase, an analog addressing circuit is needed.

[0007]

[Problem to be solved by the invention]An object of this invention is to conquer the above-mentioned difficulty of conventional technology.

[0008]

[Means for solving problem]The embodiment of this invention provides the method of reprogramming enhancement of reproduction of filtering of an image, correlation, and a holograph image and information, or details using the complex abnormal conditions within the Fourier flat surface. Since light is not removed by attenuation of amplitude, the

embodiment of this invention modulates only the phase which has optical efficiency higher than all the complex abnormal conditions. Manufacture and operation use the easy advantage of a binary addressing circuit substantially from what must give the analog addressing level with them which has quite few memories which compare this embodiment with an analog phase display further, and are needed for filter memory storage. [ specific ]

[0009]An embodiment gives a polyphase level in complex abnormal conditions, and gives a zero amplitude state further again. The advantage of having a zero amplitude state is removing noise in a field with a filter plane, and making very small signal energy lost there, or completely being able to lose. Therefore, the signal to noise ratio can be improved, without hardly affecting optical efficiency.

[0010]An embodiment realizes an above-mentioned advantage without the difficulty of the dangerous alignment described about the device of conventional technology further.

[0011]

[Working example]Although an embodiment is described hereafter, referring to an accompanying drawing, especially the same number and mark in a figure which is different as long as there is no notice are related with the same parts.

[0012]In the field of signal processing, the process to which abnormal conditions generally change the amplitude of a carrier signal, frequency, or a phase is said. The carrier signal which is not modulated is a wave of the energy of constant frequency. This energy may be a sound, light, or an electric wave. It is the energy itself that the important feature of an energy wave moves although this wave is occasionally transmitted through a substance. For example, if a stone falls into a pond, a ripple will spread from the point that the stone hit water. However, these waves do not comprise water which moves to the method of outside. The water of the surface of a pond is only gone up and down not right [ that ], and only energy is moving to the method of outside. Similarly, a light wave or a sound wave comprises regular vertical motion of energy. The distance between the peaks of successive energies is wavelength, and the frequency which those points pass is the frequency of a wave (in music). frequency is the same as the pitch of sound -- the difference between the height of the energy state of a wave is wave amplitude, and the state and the time place of the wave in 1 moment are a phase of a wave (if it puts in another way) Between the peaks of successive energies, the phase of 360 degrees or  $2\pi$  radian exists, and the phase of 180 degrees or  $\pi$  radian exists between the peak of energy, and the minimum score of energy. When progressing through us toward us, it a wave not only tells energy, but performs communication of a meaning. For example, a fixed wave like the beam of a portable electric light cannot transmit information at all. However, if the beam is interrupted or the luminosity is made to change, it can convey a message. Communication conveyed by all the waves is performed by this method.

[0013]Although amplitude modulation plays, fixed sound, i.e., height, the volume of the sound of a trombone is similar to the trombonist who makes it change. Although frequency modulation plays fixed height, it vibrates the slide of a trombone near the position

corresponding to the fixed height which is not modulated, and is similar to the trombonist who makes the vibrato or tremolo near [ the / fixed ] height produce. The sound of a long-distance trombone makes the flat surface of equal energy which he follows at an equal speed of the direction which generally keeps away from a plane wave, i.e., a trombone, and progresses to audiences. The listener who is in the equal distance receives the sound of the same phase from a trombone. When a signal needs to progress [ rather than ] to a distance a little to other listeners to one listener, or when it \*\*\*\* with a low speed a little, these listeners receive the sound of a different phase. Generally people's ear cannot detect phase contrast, but the trombonist can transmit and detect various electron devices with the style which modulated amplitude and frequency and which was similar in phase contrast, although a phase cannot be modulated like. Information can be transmitted if change of amplitude, frequency, and a phase is given and detected by modulating the signal of the constant frequency of light, and \*\*\*\*\* like a trombonist's case. The embodiment of this invention can perform this about the phase of a lightwave signal. A laser beam (it has almost fixed frequency and the wave front of an almost uniform phase) is made to enter on the array of a spatial optical modulator (SLM) in an embodiment. Information is usually arranged by computer on this array, and that information becomes a part of lightwave signal reflected from the embodiment of this invention by it. The embodiment of this invention modulates the phase from which incident light changes continuously, and makes a nonsequential phase change produce depending on the information currently transmitted. The phase of a lightwave signal as well as time being continuous is continuous as movement of the second pointer of a clock sees. however, time for time to be a nonsequential unit and a part -- a second -- and -- a second -- a portion -- be alike is measured. If a unit (time) is decomposed per much more portions (1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 8 7/hours) and it gets, the display of time will be performed more correctly and it will deal in it. [ 1/4, 1/2, 4 3/hours, or ] Since the same thing can say also about the phase of a signal, it is made for the embodiment of this invention to decompose a phase per portion easily, and the digital signal which makes a type a binary addressing signal which is moreover acquired from the usual computer is used for it. It is addressed by each of a single picture element, and if the partial element resolved independently is used, among many phases, a carrier signal can be easily modulated from two, and in the spatial modulation machine of the conventional technology which uses binary addressing, this is possible all.

[0014]A phase modulation of an embodiment is performed by resolving light from two or a partial element beyond it into a single picture element. For example, light enters on a pixel which has two partial elements, and a zero-radian phase change is given on the 1st partial element, On the 2nd partial element, a phase change ( $\pi / 2$  radian) is given, and if light reflected from both elements has the same amplitude, light reflected from both partial elements will have a phase change of  $\pi/4$  of net. If light which similarly a phase change of  $\pi$  radian was given on the 1st partial element, and a phase change ( $\pi / 2$  radian) was

given on the 2nd partial element, and was reflected from both elements has the same amplitude, Light reflected from both partial elements will have a phase change of net of  $3\pi/4$ .

[0015]An embodiment of this invention is shown in drawing 1. This embodiment comprises the pixel 20 which comprises the one phase modulation element 22 switched between zero radian and  $\pi$  radian, and the 2nd modulation element 24 switched between  $\pi/2$  radian, and  $3\pi/2$  radian. According to resolution of Optical Apparatus Sub-Division set so that a response of these two elements might be mixed, a response of net of this pixel has four possible phase states (\*\*\*\*\*,  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ ,  $5\pi/4$ , and  $7\pi/4$ ) shown in drawing 2. Since amplitude of a response in these phase states is added by phase contrast whose two equal ingredients are  $\pi/2$  radian, [External character 2]

$1/\sqrt{2}$

That is, it is set to 0.707 (if two half-portions are correctly set to the same phase, amplitude is added and is set to 1). Since a phase is a relative quantity, it can measure  $\pi/4$  state as a standard (that is, it can be considered that  $\pi/4$  states are zero phase states). In that case, it can be considered that four phase states of these modulating pixels are  $0\pi/2\pi$ , and  $3\pi/2$  radian.

[0016]Another embodiment of this invention is shown in drawing 3. In this pixel 30, four modulation elements in which an address is possible independently exist. the 1st -- and 32 and 34 are switched between zero radian and  $\pi$  radian. [ of element / 4th ] It reaches 2nd element 36 and 38 [ element / 3rd ] is switched between  $\pi/2$  radian, and  $3\pi/2$  radian. If the resolution of Optical Apparatus Sub-Division is again set so that the response of these elements may be mixed by single response, various phase states shown in drawing 4 will be realized, and it will get. One advantage of this pixel structure is that that modulation characteristic shown in drawing 4 can give eight different phase states which has the respectively almost same amplitude. This modulation characteristic can also give a zero amplitude state further. This pixel 30 suits directly in the addressing circuit developed for the display device which uses a binary addressing circuit. Without changing the address structure used as the foundation, it is added on the present binary addressing circuit, and deals in regular square arrangement of the modulation elements 32, 34, 36, and 38.

[0017]An above-mentioned principle is extended also to the device switched between the phase states which do not make a right angle, and it deals in it. The embodiment shown in drawing 5 is the example. This pixel 40 comprises three modulation elements, switches the one element 42 between zero radian and  $\pi$  radian, switches 44 [ element / 2nd ] between  $\pi/3$  radian, and  $4\pi/3$  radian, and switches 46 [ element / 3rd ] between  $2\pi/3$  radian, and  $5\pi/3$  radian. The combination of these elements gives seven reply states shown in drawing 6, when resolved properly. The modulation characteristic in this embodiment also has a zero amplitude state, and all of six phase states have the same amplitude ( $2/3$  of the response at the time of assuming that all are equal phases) correctly.

[0018]The polyphase pixel of an embodiment is a deformable mirror optical modulator. In another embodiment, it realizes as an optical modulator of the arbitrary forms of having the capability switched between two phase states, and deals in an above-mentioned pixel.

[0019]In many another embodiments, in order to introduce phase deviation required to switch between phase states phase states and adjacent elements cross at right angles, it is necessary to arrange a mask on a modulation element. Mask structure over a polarization rotation form optical modulator like a magneto-optics device or a liquid crystal device is shown in the device 50 of drawing 7. The active devices 56 and 58 are made to intervene in this structure between the light polarizer 52 and the analyzer 54. The mask 60 is added after the analyzer 54. The portion 62 includes a field of the mask 60 which has the thickness as which the 1st was chosen. Light which passed the 1st active device 56 and the portion 62 has a standard phase. The portion 64 includes a field of a mask which has another selected thickness. A phase change of an addition required for the 2nd active device 58 to operate between phase states of the 1st active device and phase states which make a right angle is introduced into light which passed the 2nd active device 58 and the portion 64. The mask 60 is added after an analyzer, in order that a phase change may guarantee not changing operation of light polarizer / analyzer pair.

[0020]As sketched above, it is a subunit containing two elements, the polyphase modulating pixels, i.e., the macro element, of an embodiment.

The 1st element can switch a phase between zero radian and  $\pi$  radian, and the 2nd element can be switched between  $\pi / 2$  radian, and  $3\pi / 2$  radian.

Drawing 8 shows embodiment of this principle as a fragmentary sectional view of the single macroscopic element 70 in a deformable mirror device (DMD). Each macro element contains the 1st mirror 72 and the 2nd mirror 74. Each mirror is constituted so that only distance [ / odd times ( $\pi / 2$  radian of the phase of entering Lighting Sub-Division) ] may move perpendicularly. Movement of each mirror is performed by impressing voltage between the 1st or 2nd beam elements 104 and 106 and the address electrode 80 in the bottom of it. The beam elements 104 and 106 are connected to the lower bias circuit through the base pad 78, the hinges 96 and 98, and the hinge support bodies 100 and 102. As for the beam element 104 or 106 and the lower address electrode 80, the electric charge of the inverse code which formed two polar plates of an air gap capacitor, and was derived on these 2 polar plate with the impressed voltage is \*\*\*\*\* about the electrostatic force which draws the beam element 104 or 106 to the direction of the lower address electrode 80. Thereby, the beam element 104 or 106 is twisted in the hinge 96 or 98 (and other hinges which probably are not \*\*\*\*\* (ed)) of relation, and you are made to deflect it toward the lower address electrode 80. The address voltage impressed to the beam element 104 or 106 makes the beam elements 104 and 106 deflect until it contacts the lower insulating stop component 82. Movement of the beam elements 104 and 106 is reflected in the mirror elements 72 and 74 formed on the beam element 104 and 106. The mirrors 72 and 74 you were made to deflect make change of the optical path of  $n\pi$  radian (however,  $n$  odd



number) produce then. Since the 1st mirror 72 is defined as zero radian while not deviating, it changes a phase between zero radian and  $n\pi$  radian ( $n$  is odd number). Since it is made for the surface of the mirror 74 to be displaced only odd times ( $\pi / 4$  radian) from the surface of the 1st mirror 72 when the 2nd mirror 74 has DMD in hibernation, the optical path difference between two mirrors of form will be  $m\pi / 2$  radian (however,  $m$  odd number) too. [0021]If possible [ access to more phases ], in order to close, as had many mirrors in two per pixel, it is extended and deals in a manufacturing process. For example, if it is constituted so that three mirrors may move between zero radian, and  $\pi / 2$  radian, between  $\pi / 6$  radian, and  $2\pi / 3$  radian, and between  $\pi / 3$  radian, and  $5\pi / 6$  radian, respectively, 3 mirror pixel will be manufactured and it will get.

[0022]Manufacture of a polyphase form spatial optical modulator (MPSLM) can be begun from the composition of a lower CMOS circuit. This may be "standard" DRAM or the SRAM array used for a DMD projection display. However, to MPSLM, in order to form an AKURO pixel, a pixel is considered that group formation is carried out and gets. This is not physical group formation but group formation on operation. The physical array is the same as DRAM or SRAM address arrays.

[0023]next, it is indicated by US,5,083,857,B following manufacture of an address circuit -- it was changed -- "it hides and the substructure of a mirror is constituted by the flow of a hinge DMD" process. "it hides, and the process and structure of hinge DMD" are changed by adding a layer next to a contiguity mirror element, in order to introduce the phase change to the element which is not changed. "although it hides and the flow of a hinge DMD" process is included in the enforcement side of this invention, this invention is applied also to much other methods and structures for light modulation, and it deals in it.

[0024]In drawing 9 a, the substrate 76 is prepared, pattern formation of the metal layer is formed and carried out, and the base pad 78 for a lower CMOS address circuit, support Bahia (via) conducted electrically, and the address electrode 80 is given. As mentioned above, this lower CMOS address circuit may be the same as that of DRAM or SRAM address arrays.

[0025]Next, in drawing 9 b, in order to control movement of the mirror 72 or 74, a stop component is manufactured and it does not become that there is nothing. A desirable manufacturing method is installing one or the stop component 82 beyond it directly on the electrode 80 for which it comes under the mirror 72 or 74. This step includes low-temperature plasma oxidation thing deposition (preferably thing below 5000A) preferably. Next, pattern formation of the stop component 82 is carried out, and it is etched.

[0026]Drawing 9 c shows DMD of an embodiment after the 1st spacer layer 84 was made to adhere and pattern formation was carried out. In order to carry out flattening of the geographical feature which an electrode and a stop component make, spin spreading of the 1st spacer layer 84 is carried out. The thickness ( $T_{sp}$ ) of all the spacers 84 needs to be equal to the height ( $T_{sp}$ ) of the stop component 82, and  $1/4$  wave of entering Lighting Sub-Division of sum with odd times ( $m\lambda/4$ , and  $m$  are odd number). Thus, the beams 104

and 106 (not shown) The mirrors 72 and 74 (not shown) constituted on refer to the drawing 9 e, and the beam 104 and 106 Referring to drawing 8 are the hinge elements 96 and 98 (not shown) by the removal after the 1st spacer layer 84 ( $L = m\lambda/4 = T_{sp} - T_{st}$  and  $m$  are odd number). It can deviate through the selected distance  $L$  left behind between refer to the drawing 9 e and the crowning of the dielectric stop component 82. therefore, the thickness ( $T_{sp}$ ) of all the 1st spacer layers 84 should pass the light reflected from the mirror which is not deflected, and the selected distance  $L$  ( $L = m\lambda/4$ , and  $m$  are odd number) -- it is formed so that the optical path length difference between the lights reflected from the deflected same mirror may be set to  $m\pi / 2$  ( $m$  is odd number). 6328-A Lighting Sub-Division is assumed in the embodiment of this invention. In order to set optical path length difference between mirrors to  $m\pi$  ( $m$  is odd number),  $m\lambda/4$ , i.e., 1582 Å, 4746 Å, and 7910 Å of mirrors can move. In an embodiment,  $m = 3$  is chosen for a 4746-Å deviation. Preferably, since the thickness of the 1st spacer layer shall be 6200 Å, the desirable thickness of the oxide stop component 82 will be 1454 Å. Next, pattern formation of the blank 86 in hinge support Bahia formed on the Bahia pad 78 is carried out to the 1st spacer layer 84, and UV curing is carried out to it.

[0027]next -- in drawing 9 d -- "it hides and a hinge" substructure is manufactured. On the 1st spacer layer 84, the sputtering of the thin hinge aluminum alloy 88 is carried out, and the etch stop 90 of an embedding hinge is formed by making a low-temperature plasma oxidation thing adhere, and carrying out pattern formation on the hinge aluminum 88.

[0028]In drawing 9 e, the etch stop 94 of beam aluminum as well as the etch stop 90 of an embedding hinge is formed by making beam aluminum adhere, making another low-temperature plasma oxide layer adhere, and carrying out pattern formation on it. Next, etching of aluminum is performed and beam aluminum of the field which is not covered with the etch stop 94 of beam aluminum and the hinge aluminum 88 which is not covered with the etch stop 90 of hinge aluminum are cleaned. Thus, the 1st hinge element 96 is formed and one or the 2nd hinge element 98 beyond it is formed, One or the 1st hinge element base material 100 beyond it is formed, one or the 2nd hinge element base material 102 beyond it is formed, and the 1st beam element 104 is formed, and the 2nd beam element 106 is formed. Although the oxide masks 90 and 94 are furthermore removed using plasma etching, it must be selectively performed so that a spacer may not be etched. Unlike the flow of the usual DMD process, it hides and removal of the 1st spacer layer 84 is not performed after removal of the oxide of a hinge.

[0029]Next, in drawing 9 f, spin spreading of the 2nd spacer layer 108 is carried out. The 2nd spacer layer 118 must have sufficient depth so that a mirror may not be equivalent to the hinge support bodies 102 and 104, when the mirrors 72 and 74 deviate. In an embodiment, since the deviation distance of a mirror is 4746 Å, if the thickness of a desirable spacer is 6200 Å, it is enough. Next, on the beam 104 and 106, pattern formation of the blank 110 in mirror support Bahia is carried out, and UV curing is carried out.

[0030]next, the thing which the mirror aluminum 112 is made to adhere, and a low-

temperature plasma oxidation thing is made to adhere further in drawing 9 g, and is etched -- "-- hiding -- mirror" -- the aluminum dirty mask 114 is formed.

[0031]The aluminum layer 116 of the addition for [ of the phase contrast between pause mirrors ] giving is made to adhere in drawing 9 h. The thickness of the aluminum 116 needs to be equal to  $n\lambda/8$  so that the optical path difference between the pause mirrors for a reflection may be set to  $n\lambda/4$  (n is odd number). To  $\lambda=6328\text{-}\text{\AA}$  desirable incident light, this thickness may be 791  $\text{\AA}$ , 2373  $\text{\AA}$ , 3955  $\text{\AA}$ , 5537 $\text{\AA}$ , etc. Preferably, the thickness of the aluminum 116 shall be 2373  $\text{\AA}$  to  $n=3$ . By making an oxide adhere again and being etched, the aluminum dirty mask 118 to the 1st mirror 72 is formed. All the aluminum of the 1st mirror 72 is protected by the dirty mask 118. Even the oxide masks 114 on the 2nd mirror 74 etch etching after being plasma etching preferably, and it removes aluminum of excessive  $n\lambda/8$  from the surface of the 2nd mirror 74.

[0032]Next, in drawing 9 i, sawing of the semiconductor wafer (not shown) is carried out like usual, and the lower part is cut out from it. The oxide masks 114 and 118 are removed, the spacer layers 84 and 108 are removed, and two from the phase mirrors 72 and 74 supported by the same deformable substructure are left behind.

[0033]Drawing 10 shows the flat-surface (crestal plane) figure of the macro element 70 of DMD. The position of the section where from drawing 9 a to drawing 9 i was made is also shown. If the hidden hinge mechanism is used, it should be cautious of the great portion of surface area actually serving as the mirror elements 72 and 74. thus -- "-- it hides, and becomes quite efficient [ hinge" structure ], and many incident light energies are modulated.

[0034]Drawing 11 is a perspective view of the macro element 70 of DMD. Drawing 12 is a block diagram of the lightwave signal processor 200 which used DMD of the embodiment. The lightwave signal processor of the embodiment shown there is optical correlator. Operation of the optical correlator explained below is typical. DMD of this invention is used in the structure of much form, and it deals in it. He should understand that the embodiment which is moreover within the limits of claim for patent is also included in the range of this invention unlike what was explained.

[0035]In the lightwave signal processor 200, the coherent light source 202 illuminates light transmission / reflective element 206 by the coherent light 204. The optical element 206 is the light from the light source 202 DMD70 (not shown) of an embodiment It reflects in up to the 1st array 208 of refer to drawing 9 substantially. This 1st array 208 has the inputted image given by the input image sensor 210. This picture is put by the 1st array 208 in abnormal conditions on the lightwave signal 204, and this modulated light 212 is sent towards the optical element 206. The optical element 206 makes a substantial quantity of the modulated light 202 pass toward the lens 214. The lens 214 performs the Fourier transform to the light 212 modulated in this technical field so that it might be publicly known, and is DMD70 (not shown) of an embodiment. It has the work which makes the spatial frequency lightwave signal 216 sent toward the 2nd array 218 of refer to drawing 9 produce.

This 2nd array 218 has the selected filter picture given by the filter database 220. The 2nd array 218 modulates the spatial frequency lightwave signal 216 by the filter picture, turns to the lens 214 the signal 222 by which the filter was carried out, and sends it. In this technical field, the lens 214 performs inverse Fourier transform of the signal 222 by which the filter was carried out, and produces the output-phases Seki signal 224 so that it may be publicly known. Next, it is substantially reflected by the optical element 206, this output-phases Seki signal is sent towards CCD imager 226, and CCD imager 226 is outputted optical correlation map 228. In this technical field, the optical correlation map 228 shows the position of the correlation degree between an inputted image and a filter picture, and the filter subject in an inputted image so that it may be publicly known. In an embodiment, the light source 202 is a laser diode which outputs the coherent light 204. Preferably, the optical element 206 shall reflect the light which has one bias, and shall have the work which penetrates the light which has other biases. Various lightwave signals which pass the optical element 206 are given a bias required since it is reflected by the optical element 206 or is penetrated if needed. Single \*\*\*\* of the lens 214 may be many lens systems.

[0036]The mirror 72 and the mirror 70 are made to deflect only an equal quantity in DMD70 of an embodiment. Another mirror which can replace these mirrors may have different migration length. Preferably, the spacer layers 84 and 108 are thoroughly removed after a sawing continuation of a wafer and lower cutoff. Or these layers 84 and 108 are removed at the arbitrary times after manufacture of the beams 104 and 106, and it deals in them. In an embodiment, metal Bahia supports a hinge / beam layers 96/104, and the mirrors 72 and 74. Or the photoresist spacers 84 and 108 may be etched selectively and it may leave these fields as support Bahia. Although it comprises aluminum, titanium, gold, nickel, other metal, or another metal, such as a metal alloy, is also used, and it deals in a desirable metal structure. a desirable manufacturing method and structure are indicated by US,5,083,857,B -- "it hides and is based on a hinge" process. If it is those who became skilled in this technical field and the Description and Claims of this patent will be examined, many other structures and manufacturing methods should become clear. In an embodiment, although the stop component 82 was explained as an insulating stop component, as long as electric insulation is held without basing the structure of a device on the deviation of a mirror, the arbitrary materials which have suitable endurance are used and it deals in it. Although a lower circuit has a preferred thing of the structure of DRAM or SRAM type, the function can be performed depending on the form of performance of asking also for the circuit of charge coupled devices (CCD) or other forms.

[0037]An embodiment contained 2 mirror macroscopic element. To a 3 mirror (or more than it) macro element, a flow of a process is extended as follows and it deals in it.

[0038]If drawing 9 a to drawing 9 g excepts that a substructure of an electrode \*\*\*\*\* hinge to the 3rd mirror is included, it will advance similarly.

[0039]In drawing 9 h, in the case of 3 mirror devices, thickness of the aluminum film 116 must be corrected so that the optical path difference for a reflection between the first 2

mirrors may be set to  $m\pi/3$  as  $m=1, 4$ , and  $7$  grades. That is, the membranous thickness must be  $m\pi/6$  radian, or  $m\lambda/12$ . In an embodiment, this is equivalent to 527 Å, 2110 Å, 3692 Å, etc. to 6328-Å Lighting Sub-Division. In an embodiment, the 2110-Å-thick aluminum film 116 to  $m=4$  is used, and it gets.

[0040]In drawing 9 h, the deposition of additional aluminum and the deposition of oxide masks are further needed to the 3rd mirror. These layers are formed like the aluminum film 116 and the oxide masks 118. Preferably, an aluminum film shall be 2110 Å in order to give a reflected light path difference ( $4\pi/3$  radian) to a pan between the 2nd mirror and the 3rd mirror. Also in the explanation before drawing 9 i, the new process under explanation relevant to drawing 9 i is the same.

[0041]Although the embodiment has been described above using binary addressing composition, Instead, bias of the DMD can also be carried out in order to obtain the ternary addressing composition which can close many phase states if possible, and to use 3 operational stability of DMD, rather than possible in binary addressing.

[0042]Above, some embodiments were described in detail. He should understand that the embodiment moreover included within the limits of claim for patent is also included in the range of this invention unlike the described embodiment. Although this invention was explained about the embodiment, this explanation should not be interpreted as the thing of a restrictive meaning. For various changes of an embodiment, and those who combined and became skilled in this technical field, other embodiments of this invention should become clear, if the above explanation is referred to. Therefore, such any changes or embodiments are also considered as being contained in Claims.

[0043]The following clauses are further indicated about the above explanation.

(1) The step which allocates the pixel which has at least two modulation elements which can be switched between [ of at least two / addressable ] states, Said at least two modulation elements which can be switched between [ of at least two / addressable ] states are addressed, The step from which the light which enters into this modulation element receives a nonsequential phase change when this modulation element switches this few \*\*\*\* between [ of two / addressable ] states by it, The method of polyphase light modulation using the array of a pixel containing the step which resolves the light from said at least two modulation elements to the single response which has at least three original phases.

[0044](2) A way given in the 1st clause a step which addresses said at least two modulation elements is a step of binary addressing to which light which entered into two modulation elements is made, and this few \*\*\*\* receives a binary phase change between [ addressable / said ] states, and closes.

[0045](3) A method given in the 1st clause which is a movable reflective element which said at least two modulation elements answer address voltage impressed to each of those address electrode, and is made to advance side by side by perpendicular direction.

[0046](4) Only one fourth of odd times of wavelength of a selected light, at least one of said the at least two movable reflective elements is made to advance side by side by

perpendicular direction, and by it. A way given in the 3rd clause phase contrast of  $\pi$  radian exists between a reflective element made to keep pace also with this few \*\*\*\* by one perpendicular direction, a reflective element which is not made to advance side by side by perpendicular direction, and a reflected light of \*\* and others.

[0047](5) Only one eighth of odd times of wavelength of a selected light, said at least two movable reflective elements can give a difference perpendicularly, and it by it. A way given in the 3rd clause phase contrast ( $\pi / 2$  radian) exists between two one more of the movable reflective elements and reflected lights of \*\* and others in this few \*\*\*\*, and one and this few \*\*\*\* of two movable reflective elements.

[0048](6) Said modulation element is a liquid crystal which has the crystal orientation which answers address voltage and is twisted. A method given in the 1st clause.

[0049](7) The 1st modulation element that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, The light which is the 2nd modulation element that adjoins this 1st modulation element, and that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, and entered into this 2nd modulation element, By making said 2nd modulation element formed so that phase contrast might be made to produce between the light which entered into said 1st modulation element and received the operation, and \*\*, and said both modulation elements change physically, The polyphase optical modulator which has a pixel including the addressing circuit which exists in the lower part which is made to produce the nonsequential phase change corresponding to said at least two addressable states of these both modulation elements, and in which it deals.

[0050](8) The light which is the 3rd modulation element that adjoins said 1st modulation element, and that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, and entered into this 3rd modulation element, Said 3rd modulation element formed so that phase contrast might be made to produce between the light which entered into said 1st modulation element and received the operation, and \*\*, The light which is the 4th modulation element that adjoins said 2nd and 3rd modulation elements, and is in the diagonal line opposition of said 1st modulation element, and that can be switched between [ of at least two / addressable ] states, and entered into this 4th modulation element, The modulator given in the 7th clause which contains further said 4th modulation element formed so that phase contrast might be made to produce between the light which entered into said 2nd and 3rd modulation elements, and received the operation, and \*\*.

[0051](9) The modulator given in the 7th clause which said modulation element can switch between [ of two / addressable ] states.

(10) The modulator given in the 7th clause which is a movable reflective element which said at least two modulation elements answer the address voltage impressed to each of those address electrode, and is made to advance side by side by the perpendicular direction.

[0052](11) Only one fourth of odd times of the wavelength of a selected light, at least one of said the at least two movable reflective elements is made to advance side by side by the perpendicular direction, and by it. The modulator given in the 10th clause with which the



phase contrast of  $\pi$  radian exists between the reflective element made to keep pace also with this few \*\*\*\* by one perpendicular direction, the reflective element which is not made to advance side by side by the perpendicular direction, and the reflected light of \*\* and others.

[0053](12) Only one eighth of odd times of the wavelength of a selected light, said at least two movable reflective elements can give a difference perpendicularly, and it by it. The modulator given in the 10th clause with which phase contrast ( $\pi / 2$  radian) exists between two one more of the movable reflective elements and the reflected lights of \*\* and others in this few \*\*\*\*, and one more and this few \*\*\*\* of two movable reflective elements.

[0054](13) The modulator given in the 7th clause which is a liquid crystal which has the crystal orientation which said modulation element answers address voltage and is twisted.

[0055](14) So that the step which prepares a substrate, the step which forms a binary addressing circuit on this substrate, and the 1st beam element may have a state addressable 2 stable, So that the 2nd beam element may have a state addressable 2 stable with TESUPPU which forms in said binary addressing circuit this 1st beam element you were made to combine electrically, The step which forms this 2nd beam element that was made to combine with said binary addressing circuit electrically, and adjoined said 1st beam element, So that phase contrast may be made to produce between the step which forms the 1st mirror on said 1st beam element, the light which entered into the 2nd mirror, the light which entered into said 1st mirror and received the operation, and \*\*, A formation method of the modification movable mirror devices (DMD) which have a movable mirror element for modulating incident light containing the step which forms said 2nd mirror to which the difference is perpendicularly given from said 1st mirror on said 2nd beam element.

[0056](15) The step which prepares the substrate which has a binary addressing circuit, The step which forms the 1st base pad is on this substrate and you are made to combine with this binary addressing circuit, The step which forms the 2nd base pad that is on said substrate, and it is made to combine with said binary addressing circuit, and has not been conducted electrically [ said 1st base pad ], The step which forms the 1st address electrode is on said substrate and you are made to combine with said binary addressing circuit, The step which forms the 2nd address electrode that is on said substrate, and it is made to combine with said binary addressing circuit, and has not been conducted electrically [ said 1st address electrode ], The step which forms the 1st hinge that contacted said 1st base pad, and has conducted electrically, and is on said 1st address electrode via an air gap, The step which forms the 2nd hinge that contacted said 2nd base pad, and has conducted electrically, and is on said 2nd address electrode via an air gap, The step which forms this and the 1st beam element conducted electrically on said 1st hinge, and the step for which this and the 2nd beam element conducted electrically are formed on said 2nd hinge, So that phase contrast may be made to produce between the step which forms the 1st mirror on said 1st beam element, the light which entered into the 2nd mirror, the light which

entered into said 1st mirror and received the operation, and \*\*, A formation method of the deformable mirror device (DMD) which has a movable mirror element for modulating incident light containing the step which forms said 2nd mirror to which the difference is perpendicularly given from said 1st mirror on said 2nd beam element.

[0057](16) A step which prepares a substrate with which it is a formation method of DMD which has a movable mirror element for modulating incident light, and this method has a binary addressing circuit, A step which forms a metal layer on this board, and a step which carries out pattern formation of this metal layer, and allocates a base pad for hinge support Bahia, A step which forms a stop component which can control movement of said movable mirror element, A step which forms the 1st spacer layer, and a step which carries out pattern formation of this 1st spacer layer, and forms a blank in hinge support Bahia in this 1st spacer layer, A step which forms hinge metal on said 1st spacer layer and a blank in said hinge support Bahia, A step which embeds on this hinge metal and forms a hinge etch stop, A step which carries out pattern formation of this embedding hinge etch stop, and a step which forms beam metal on said hinge metal and said embedding hinge etch stop, A step which forms a beam metal etch stop on this beam metal, a step which carries out pattern formation of this beam metal etch stop, and a step which removes said beam metal in a field which is not covered with this beam metal etch stop, A step which removes said hinge metal in a field which is not covered with said hinge etch stop, A step which forms the 2nd spacer layer, and a step which carries out pattern formation of this 2nd spacer layer, and forms a blank in mirror support Bahia, A step which forms the 1st mirror metal layer, and a step which forms the 1st mirror etch stop, A step it is made to have this 1st mirror etch stop on the 1st mirror area by carrying out pattern formation of this 1st mirror etch stop, A step which forms the 2nd mirror metal layer, and a step which forms the 2nd mirror etch stop, A step it is made to have this 2nd mirror etch stop on the 2nd mirror area by carrying out pattern formation of this 2nd mirror etch stop, A step which removes said 2nd mirror metal layer in a field which is not under said 2nd mirror etch stop, A formation method of DMD which has a movable mirror element for modulating incident light containing a step which removes said 1st mirror metal layer in a field which is not under said 1st mirror etch stop or said 2nd mirror etch stop, and a step which removes said 1st and 2nd spacer layers.

[0058](17) A lightwave signal processor device containing the array of a polyphase deformable mirror device which has a binary addressing circuit.

[0059](18) Optical correlator equipment containing the array of a polyphase deformable mirror device which has a binary addressing circuit.

[0060](19) The method of the polyphase light modulation containing the step which allocates the pixel 20 which has at least two modulation elements 22 and 24. Further, by addressing said at least two modulation elements 22 and 24, this method carries out light which entered into the this addressed element, and contains the step to which the nonsequential phase change between [ addressable ] states is received, and it closes. Said



method contains the step which resolves the light from said at least two modulation elements 22 and 24 further to the response which has at least three original phases. Other devices, equipment, and a method are also indicated.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The top view of the two-element polyphase type spatial optical modulator (MPSLM) of an embodiment.

[Drawing 2]The phase portrait obtained in the abnormal-conditions device of drawing 1.

[Drawing 3]The top view of four-element MPSLM of an embodiment.

[Drawing 4]The phase portrait obtained in the abnormal-conditions device of drawing 3.

[Drawing 5]The top view of three-element MPSLM of an embodiment.

[Drawing 6]The phase portrait obtained in the abnormal-conditions device of drawing 5.

[Drawing 7]The top view of two-element MPSLM of another embodiment.

[Drawing 8]The fragmentary sectional view of MPSLM of an embodiment.

[Drawing 9]The fragmentary sectional view after the processing step to which MPSLM of an embodiment succeeds one another to a to h.

[Drawing 10]the lower part shown by the thin dotted line -- "-- the top view of MPSLM of an embodiment which hides and has hinge" and beam structure.

[Drawing 11]The perspective view of MPSLM of an embodiment.

[Drawing 12]The block diagram of the lightwave signal processor incorporating the array of MPSLM of an embodiment.

### [Explanations of letters or numerals]

20 Pixel

22 The 1st modulation element

24 The 2nd modulation element

30 Pixel

32 The 1st modulation element

34 The 4th modulation element

36 The 2nd modulation element

38 The 3rd modulation element

---

[Translation done.]

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

Diagram illustrating a square lattice structure with four sites labeled 20, 22, 24, and 26. The sites are connected by horizontal and vertical lines. The labels 22, 24, and 26 are underlined. The labels 20, 22, 24, and 26 are also underlined in the original image.

Site 20:  $\phi = 0$  OR  $\phi = \pi$

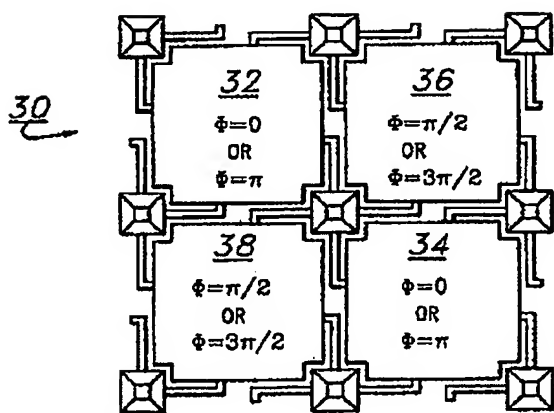
Site 22:  $\phi = \pi/2$  OR  $\phi = 3\pi/2$

Site 24:  $\phi = \pi/2$  OR  $\phi = 3\pi/2$

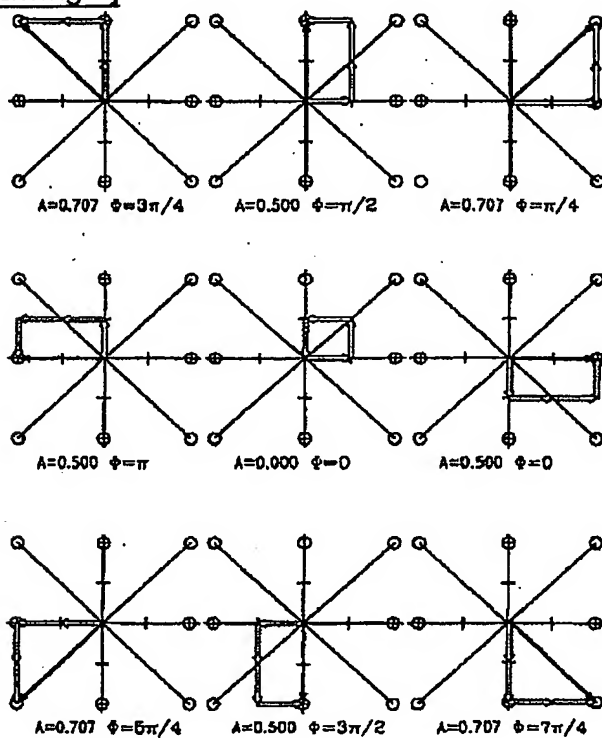
Site 26:  $\phi = \pi/2$  OR  $\phi = 3\pi/2$

Figure 1 shows four diagrams illustrating the geometry of a four-rod structure for different phase angles  $\phi$ . Each diagram is a square with four rods (circles) at the corners and a central point. The rods are connected by lines forming a square. The phase angle  $\phi$  is indicated for each diagram:  $\phi = 3\pi/4$  (top-left),  $\phi = \pi/4$  (top-right),  $\phi = 5\pi/4$  (bottom-left), and  $\phi = 7\pi/4$  (bottom-right). The parameter  $A$  is given as 0.707 for all diagrams.

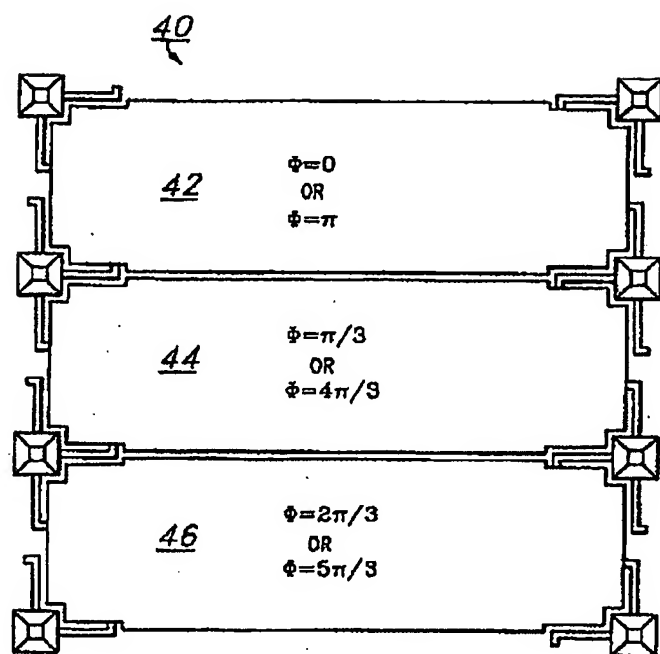
**[Drawing 3]**



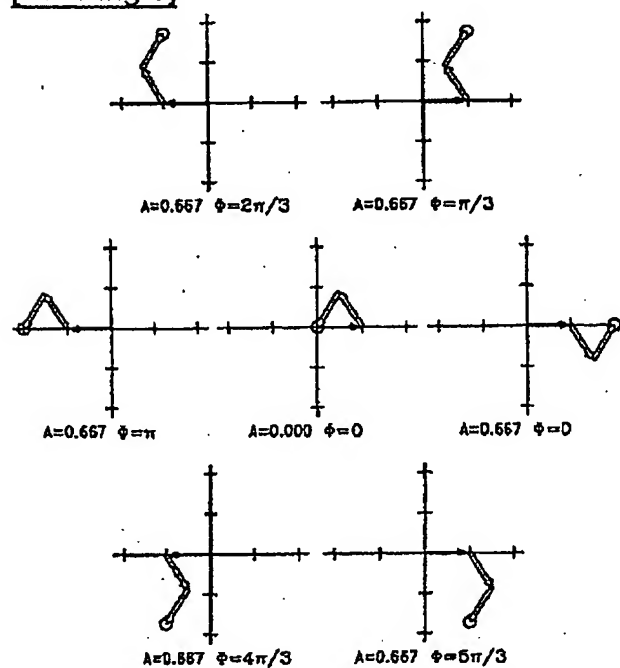
[Drawing 4]



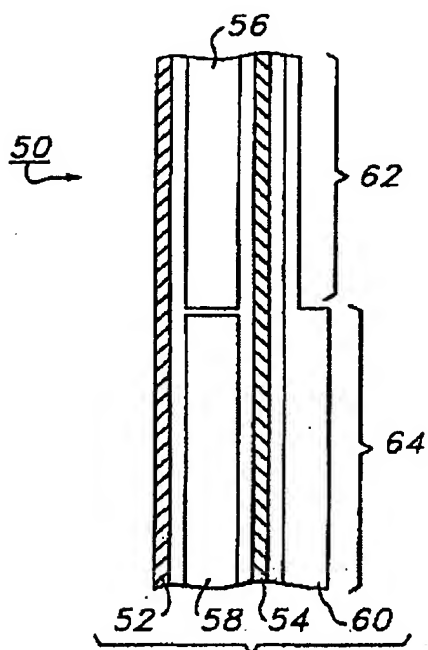
[Drawing 5]



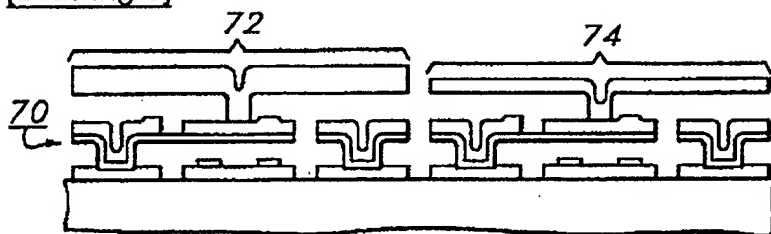
[Drawing 6]



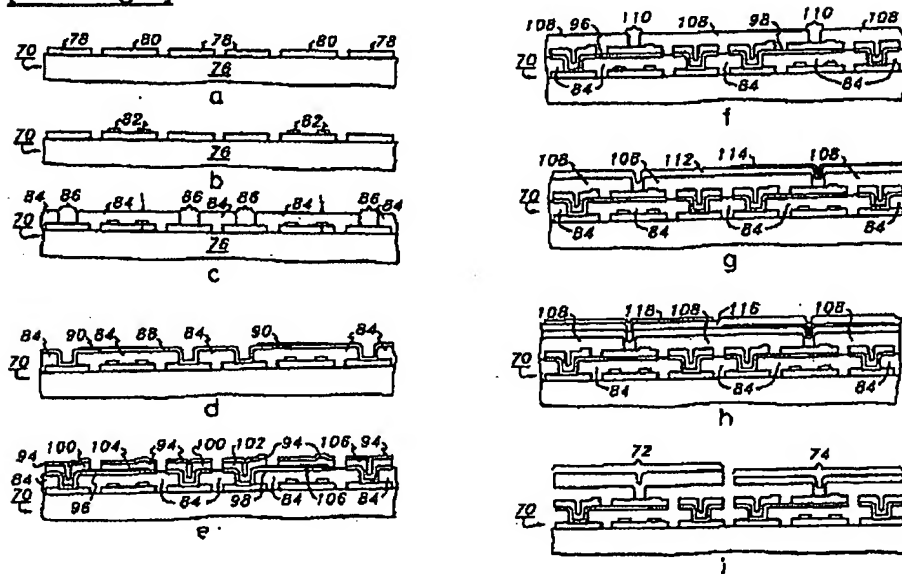
[Drawing 7]



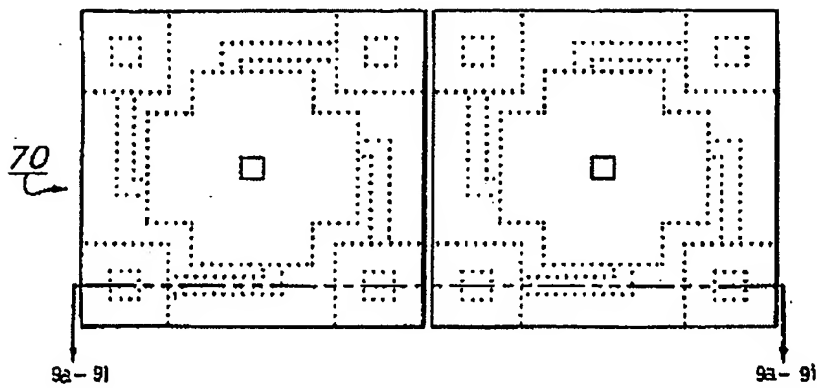
[Drawing 8]



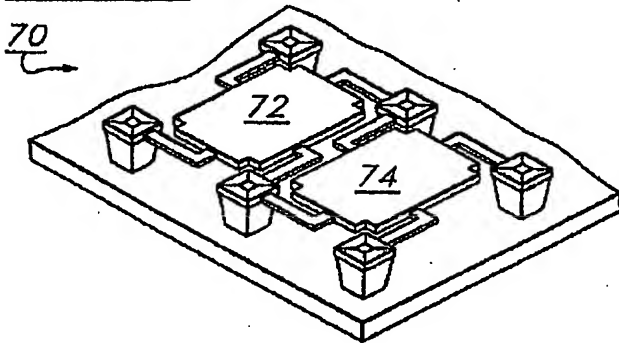
[Drawing 9]



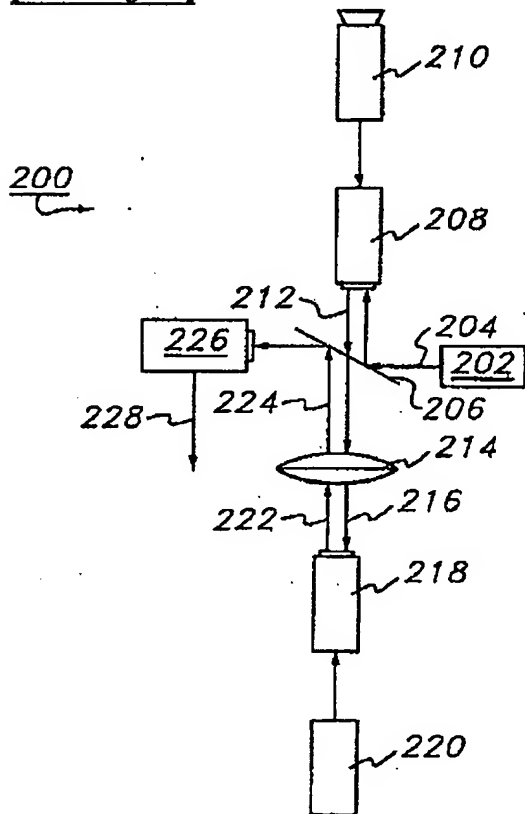
[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Drawing 12]





[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-281869

(43)公開日 平成6年(1994)10月7日

(51)IntCl.<sup>5</sup>  
G 0 2 B 26/00

織別記号 庁内整理番号  
9226-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平5-77112

(22)出願日 平成5年(1993)4月2日

(31)優先権主張番号 8 6 2 9 3 3

(32)優先日 1992年4月3日

(33)優先権主張国 米国(U S)

(71)出願人 590000879

テキサス インスツルメンツ インコーポ  
レイテッド

アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース  
セントラルエクスプレスウェイ 13500

(72)発明者 ジュームズ エム. フローレンス

アメリカ合衆国テキサス州リチャードソ  
ン, ウォルナット クリーク プレース  
4

(72)発明者 デール. マーク ボイセル

アメリカ合衆国テキサス州ブラノ, ノース  
リッジ ドライブ 1400

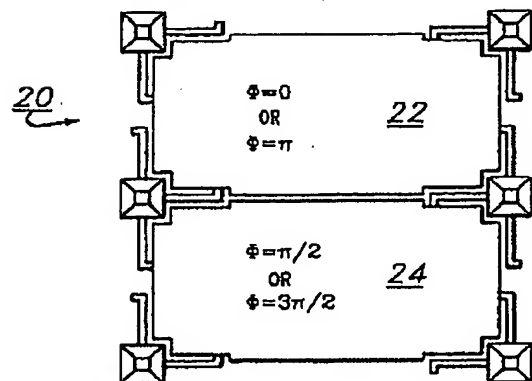
(74)代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

(54)【発明の名称】 多相光変調の方法および装置

(57)【要約】

【目的】 多相光変調の方法および装置を開示する。

【構成】 この多相光変調の方法は、少なくとも2つの  
変調素子22、24を有する画素20を配設するステッ  
プを含む。前記方法はさらに、前記少なくとも2つの変  
調素子22、24をアドレス指定することにより、該ア  
ドレス指定された素子に入射した光をしてアドレス指定  
可能状態間における不連続的位相変化を受けしめるステ  
ップを含む。前記方法はさらに、前記少なくとも2つの  
変調素子22、24からの光を、少なくとも3つの独自の  
位相を有する応答に解像するステップを含む。他のデ  
バイス、装置、および方法もまた開示される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる少なくとも2つの変調素子を有する画素を配設するステップと、

少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる前期少なくとも2つの変調素子をアドレス指定し、それによって該変調素子が該少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチした時該変調素子に入射する光が不連続的な位相変化を受けるようにするステップと、

前記少なくとも2つの変調素子からの光を、少なくとも3つの独自の位相を有する単一の応答に解像するステップと、を含む、画素のアレイを用いる多相光変調の方法。

【請求項2】 少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第1変調素子と、

該第1変調素子に隣接する、少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第2変調素子であって、該第2変調素子に入射した光と、前記第1変調素子に入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように形成された前記第2変調素子と、前記両変調素子を物理的に変化せしめることにより、該両変調素子の前記少なくとも2つのアドレス指定可能状態に対応する不連続的な位相変化を生ぜしめうる下部に存在するアドレス指定回路と、を含む画素を有する多相光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、一般的には多相空間的光変調に関し、特に離散レベルアドレス回路によってアドレス指定されるが、光変調のための多相状態が可能である光変調器の動作および製造に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 空間的光変調器 (SLM) は、入射光を、電気的または光学的入力に対応する空間的パターンに変調するトランスジューサである。入射光は、その位相、強度、偏り、または方向を変調され、その光の変調は、さまざまな電気光学または磁気光学効果を示すさまざまな材料によって、また表面の変形により光を変調する材料によって、行なわれうる。SLMは、光情報処理、投写ディスプレイ、および静電印刷の分野において、さまざまに応用されている。30 IEEE Trans. Elec. Dev. 539 (1983) に所載の L. Hornbeck 著「128×128 Deformable Mirror Device」に引用されている参考文献を参照されたい。

【0003】 従来、この分野においては、2進光変調器によって2つより多くの位相および/または振幅状態を実現するために、多くの方法が用いられてきた。実質的に全てのこれらの方法は、本来2進的である磁気光学変

調器に対して適用されてきたが、あるものは、簡単に2進的に動作する他の変調器に対して適用されうる。Applied Optics 27, 4079-4083 (1988) 所載の Flannery 外著「Transform-ratio Ternary Phase-amplitude Filter Formulation for Improved Correlation Discrimination」および Applied Optics 28, 1044-1046 (1989) に所載の Kast 外著「Implementation of Ternary Phase Amplitude Filters Using a Magneto-optic Spatial Light Modulator」には、磁気光学変調器においてアクセスされうる3進状態を用いる方法が説明されている。磁気光学デバイスは、透過性ザクロ石材料内の磁区の方法をスイッチすることにより動作する。磁区の方法は2状態のみを有することができ、それによってこのデバイスの固有の2進的性質が生じる。

【0004】 2進ホログラムおよびフィルタの主たる欠点は、あるホログラム (またはフィルタ) およびその複素共役の双方に対する2進表示が同じであることである。これは、2進ホログラムが再生される時、所望される像と、その像の空間的に反転されたコピー (水平および垂直方向の双方において逆にされたもの) との双方が発生せしめられることを意味する。この再生においては、前記像にも、その共役像も優先権は与えられていないので、出力の全エネルギーはこれらの像に等しく分割され、従ってこのプロセスの効率は低下する。さらに、空間的搬送波変調などの特殊な技術を用いてこれら2つの像を分離しない限り、これら2つの再生像は互いに空間的に重なり合う。空間的搬送波変調は、再生プロセスの全体的効率をさらに低下させる。

【0005】 Applied Optics 28, 4840-4844 (1989) に所載の Dickey および Hanshe 著「Quad-phase Correlation Filter Implementation」には、相関フィルタに対して4つの位相レベルを実現するために、2進状態磁気光学デバイスを使用する方法が説明されている。この方法は、わずかにオフアクシスにアラインされたデバイスを動作させることによって、迂回位相アプローチを用いる。このミスアラインメントを与えるために用いられる傾斜は、傾斜方向における変調器内の隣接画素間に  $\pi/2$  の位相差を与える。隣接画素からの応答がいっしょに混合されて正味の応答を与えるように処理解像度をセットすれば、4つの位相状態:

【外1】

$$(\pm 1 \pm j) / \sqrt{2}$$

(すなわち、 $\pi/4$ 、 $3\pi/4$ 、 $5\pi/4$ 、および  $7\pi/4$ )

／4ラジアン)が可能となる。この技術は、きわどいアラインメント公差を要求する。

【0006】1990年9月28日出願の米国特許出願第590,405号において、Florenceは、2つの隣接する位相変調素子の応答をアナログアドレス指定によって混合すれば、全複素光変調が可能であることを示した。2つの変調素子の別々のアドレス指定は、合成された画素応答において振幅および位相の双方を独立してセットするのに必要な自由度2を与える。この方法は極めて一般的なもので、振幅および位相の双方において完全な変調範囲を与えるが、アナログアドレス指定回路を必要とする。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来技術の上述の困難を克服することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の実施例は、フリーエ平面内における複素変調を用いた、像のフィルタリング、相関、ホログラム像の再生、および情報または細部の増強の、再プログラム可能な方法を提供する。本発明の実施例は、振幅の減衰により光が除去されないために全複素変調よりも高い光学的効率を有する、位相のみの変調を行なう。この実施例はさらに、アナログ位相表示に比しフィルタ記憶装置のために必要とするメモリがかなり少なく、また特定のアナログアドレスレベルを与えなくてはならないものより製造および動作が実質的に簡単である、2進アドレス指定回路の利点を利用している。

【0009】実施例はまた、複素変調において多相レベルを与え、さらにゼロ振幅状態を与える。ゼロ振幅状態を有することの利点は、フィルタ平面のある領域において雑音を除去し、そこで失われる信号エネルギーを極めて小さくするか、あるいは全くなくしうることである。従って、光学的効率にほとんど影響を与えずに、SN比を改善することができる。

【0010】実施例はさらに、従来技術のデバイスに関して述べたきわどいアラインメントの困難なしに、上述の利点を実現する。

【0011】

【実施例】以下、添付図面を参照しつつ実施例を説明するが、特に断わりのない限り、異なる図内の同じ番号および符号は、同じ部品に関する。

【0012】信号処理の分野において、変調とは、一般に搬送波信号の振幅、周波数、または位相を変化させるプロセスをいう。変調されていない搬送波信号は、一定周波数のエネルギーの波である。このエネルギーは、音、光、または電波でありうる。エネルギー波の重要な特徴は、該波は時には物質を通して伝達されるが、移動するのはエネルギー自体のみであることである。例えば、石が池の中に落ちると、石が水に当たった点から波

紋が広がる。しかし、これらの波は、外方へ移動する水から構成されているのではない。そうではなく、池の表面の水は上下しているだけであり、エネルギーのみが外方へ移動しているのである。同様にして、光波または音波は、エネルギーの規則的な上下運動から成る。相次ぐエネルギーの最高点間の距離が波長であり、それらの点通過する頻度が波の周波数であり（音楽においては、周波数は音の高さと同じである）、波のエネルギー状態の高低間の差が波の振幅であり、1瞬間における波の状態および時間的な場所が波の位相である（換言すれば、相次ぐエネルギーの最高点間には $360^\circ$ または $2\pi$ ラジアン位の位相が存在し、エネルギーの最高点とエネルギーの最低点との間には $180^\circ$ または $\pi$ ラジアン位の位相が存在する）。波は、我々に向かって、また我々を通って進む時、エネルギーを伝えるのみでなく、意味の通信をも行なう。例えば、懐中電燈のビームのような一定した波は、なんら情報を伝達しえない。しかし、もしそのビームが中断されるか、もしその明るさが変化せしめられれば、それはメッセージを搬送しうる。全ての波によって搬送される通信は、この方法によって行なわれる。

【0013】振幅変調は、一定の音すなわち高さを吹奏するのであるが、トロンボーンの音の音量は変化させる、トロンボーン奏者に類似している。周波数変調は、一定の高さを吹奏するのであるが、トロンボーンのスライドをその一定の変調されていない高さに対応する位置の付近で振動させて、その一定の高さ付近でのピブラートまたはトレモロを生ぜしめるトロンボーン奏者に類似している。遠距離におけるトロンボーンの音は、一般に平面波、すなわちトロンボーンから遠ざかる向きに等しい速度で進む等しいエネルギーの平面をなして、聴衆の方へ進む。トロンボーンから等距離にいる聴取者は、同じ位相の音を受ける。もし信号が一方の聴取者に対して、他の聴取者に対するよりも、やや遠くまで進む必要があった場合、またはやや低速度で進められた場合には、これらの聴取者は異なる位相の音を受ける。人の耳は一般に位相差を検出することはできず、トロンボーン奏者は、振幅および周波数を変調したようには、位相を変調することはできないが、さまざまな電子デバイス、位相差を類似した様式により送信および検出することができる。トロンボーン奏者の場合と同様に、光の一定周波数の信号、すなわち搬送波信号を変調することにより、振幅、周波数、および位相の変化を与え、また検出すれば、情報を送信することができる。本発明の実施例は、光信号の位相に関してこれを行ないうる。実施例においては、（ほぼ一定の周波数と、ほぼ一様な位相の波頭を有する）レーザ光が空間的光変調器（SLM）のアレイ上に入射せしめられる。情報はこのアレイ上に、通常はコンピュータによって配置され、それによってその情報は、本発明の実施例から反射された光信号の一部となる。本発明の実施例は、入射光の連続的に変

化する位相を変調し、送信されつつある情報に依存して不連続的な位相変化を生ぜしめる。時計の秒針の運動に見られる通りに時間が連続的であるのと同様に、光信号の位相も連続的である。しかし、時間は不連続的な単位である、時間、分、秒、および秒の部分、によって測定される。単位(時間)がもっと多くの部分単位( $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ 時間、または $1/8$ 、 $1/4$ 、 $3/8$ 、 $1/2$ 、 $5/8$ 、 $3/4$ 、 $7/8$ 時間)に分解されうれば、時間の表示はもっと正確に行なわれうる。信号の位相に関しても同様のことがいえるので、本発明の実施例は、位相を容易に部分単位に分解しうるようにし、しかも通常のコンピュータから得られるような、2進アドレス指定信号を典型とするデジタル信号を用いる。単一画素の、個々にアドレス指定され、かつ単独に解像される部分素子を用いれば、2つより多くの位相間において搬送波信号を容易に変調することができ、これは、2進アドレス指定を用いる従来技術の空間的変調器において可能であった全てである。

【0014】実施例の位相変調は、2つまたはそれ以上の部分素子からの光を単一画素内へ解像することによって行なわれる。例えば、2つの部分素子を有する画素上にもし光が入射して、第1部分素子上において0ラジアン位の位相変化が与えられ、第2部分素子上において $\pi/2$ ラジアン位の位相変化が与えられ、双方の素子から反射された光が同じ振幅を有すれば、双方の部分素子から反射された光は $\pi/4$ の正味の位相変化を有することになる。同様にして、もし第1部分素子上において $\pi$ ラジアン位の位相変化が与えられ、第2部分素子上において $\pi/2$ ラジアン位の位相変化が与えられ、双方の素子から反射された光が同じ振幅を有すれば、双方の部分素子から反射された光は $3\pi/4$ の正味の位相変化を有することになる。

【0015】図1には、本発明の実施例が示されている。この実施例は、0ラジアンと $\pi$ ラジアンとの間でスイッチする1つの位相変調素子22と、 $\pi/2$ ラジアンと $3\pi/2$ ラジアンとの間でスイッチする第2変調素子24とから成る画素20から構成される。これら2つの素子の応答を混合するようにセットされた光学装置の解像度によれば、該画素の正味の応答は、図2に示されている4つの可能な位相状態(すなわち、 $\pi/4$ 、 $3\pi/4$ 、 $5\pi/4$ 、および $7\pi/4$ )を有する。これらの位相状態における応答の振幅は、2つの等しい成分が $\pi/2$ ラジアン位の位相差で加算されるので、

【外2】

$$1/\sqrt{2}$$

すなわち0.707になる(もし2つの半部分が正確に同じ位相にセットされているとすれば、振幅は加算されて1になる)。さらに、位相は相対的な量であるから、 $\pi/4$ 状態を規準として測定することができる(すなわち、 $\pi/4$ 状態をゼロ位相状態とみなしうる)。その場

合は、この変調画素の4つの位相状態は、0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、および $3\pi/2$ ラジアンとみなしうる。

【0016】図3には、本発明のもう1つの実施例が示されている。この画素30内には、4つの独立してアドレス可能な変調素子が存在する。第1および第4素子32、34は、0ラジアンと $\pi$ ラジアンとの間でスイッチする。第2素子36および第3素子38は、 $\pi/2$ ラジアンと $3\pi/2$ ラジアンとの間でスイッチする。再び光学装置の解像度を、これらの素子の応答が単一応答に混合されるようにセットすれば、図4に示されているさまざまな位相状態が実現されうる。この画素構造の1つの利点は、図4に示されているその変調特性が、それぞれほぼ同じ振幅を有する8つの異なる位相状態を与えうることである。この変調特性はさらに、ゼロ振幅状態をも与えうる。さらに、この画素30は、2進アドレス指定回路を用いるディスプレイデバイスのために開発されたアドレス指定回路に直接適合できる。変調素子32、34、36、および38の規則的な正方形配置は、基礎となるアドレス構造を変えることなく現在の2進アドレス指定回路上に付加されうる。

【0017】上述の原理は、直角をなさない位相状態間でスイッチするデバイスに対しても拡張されうる。図5に示されている実施例は、その例である。この画素40は3つの変調素子から成り、1つの素子42は0ラジアンと $\pi$ ラジアンとの間でスイッチし、第2素子44は $\pi/3$ ラジアンと $4\pi/3$ ラジアンとの間でスイッチし、第3素子46は $2\pi/3$ ラジアンと $5\pi/3$ ラジアンとの間でスイッチする。これらの素子の組合せは、適正に解像された時には、図6に示されている7つの応答状態を与える。この実施例における変調特性もまたゼロ振幅状態を有し、6つの位相状態は全て正確に同じ振幅(全てが等しい位相であると仮定した場合の応答の2/3)を有する。

【0018】実施例の多相画素は、変形可能ミラー光変調器である。別の実施例においては、上述の画素は、2つの位相状態間でスイッチする能力を有する任意の形式の光変調器として実現されうる。

【0019】多くの別の実施例においては、隣接素子が直交する位相状態間でスイッチするのに必要な位相偏移を導入するために、変調素子上にマスクを配置する必要がある。図7のデバイス50には、磁気光学デバイスまたは液晶デバイスのような偏光回転形光変調器に対するマスク構造が示されている。この構造においては、能動素子56および58が偏光子52と検光子54との間に介在せしめられている。マスク60は、検光子54の後に付加される。部分62は、第1の選択された厚さを有するマスク60の領域を含む。第1能動素子56および部分62を通過した光は規定位相を有する。部分64は、もう1つの選択された厚さを有するマスクの領域を含む。第2能動素子58および部分64を通過した光に

は、第1能動素子の位相状態と直角をなす位相状態間で第2能動素子58が動作するのに必要な追加の位相変化が導入される。マスク60は、位相変化が偏光子/検光子対の動作を変化させないことを保証するために、検光子の後に付加される。

【0020】以上に略述したように、実施例の多相変調画素すなわちマクロ素子は、2素子を含むサブユニットであり、その第1素子は0ラジアンと $\pi$ ラジアンとの間で位相をスイッチし、第2素子は $\pi/2$ ラジアンと $3\pi/2$ ラジアンとの間でスイッチする。図8は、この原理の具体化を、変形可能ミラーデバイス(DMD)内の単一マクロ素子70の部分断面図として示す。それぞれのマクロ素子は、第1ミラー72および第2ミラー74を含む。それぞれのミラーは、入射する照明の位相の $\pi/2$ ラジアン(の奇数倍)に対応する距離だけ垂直方向に移動するように構成されている。それぞれのミラーの移動は、第1または第2梁素子104、106と、その下にあるアドレス電極80との間に電圧を印加することによって行なわれる。梁素子104、106は、ベースパッド78、ヒンジ96、98、およびヒンジ支持体100、102を経て下部のバイアス回路に接続されている。梁素子104または106と、下部のアドレス電極80とは、エアギャップキャパシタの2つの極板を形成し、印加された電圧によりこれら2極板上に誘導された逆符号の電荷は、梁素子104または106を下部のアドレス電極80の方へ引きつける静電気力をおよぼす。これにより、梁素子104または106は、関連のヒンジ96または98(および恐らくは図示されていない他のヒンジ)においてねじられて、下部のアドレス電極80に向かって偏向せしめられる。梁素子104または106に印加されるアドレス電圧は、梁素子104、106を下部の絶縁停止部材82に接触するまで偏向せしめるようになっている。梁素子104、106の運動は、梁素子104、106上に形成されたミラー素子72、74に反映される。その時、偏向せしめられたミラー72、74は、 $n\pi$ ラジアン(ただし $n$ は奇数)の光路の変化を生ぜしめる。第1ミラー72は、偏向していない時に0ラジアンとして定められているので、0ラジアンと $n\pi$ ラジアン( $n$ は奇数)との間で位相を変化させる。第2ミラー74は、DMDが休止状態にある時には、ミラー74の表面が第1ミラー72の表面から $\pi/4$ ラジアン(の奇数倍)だけ変位せしめられているので、やはり2つの形式のミラー間の光路差は $m\pi/2$ ラジアン(ただし $m$ は奇数)となる。

【0021】製造工程は、より多くの位相へのアクセスを可能ならしめるために、1画素につき2つより多くのミラーを有するように拡張される。例えば、もし3ミラーがそれぞれ0ラジアンと $\pi/2$ ラジアンとの間、 $\pi/6$ ラジアンと $2\pi/3$ ラジアンとの間、および $\pi/3$ ラジアンと $5\pi/6$ ラジアンとの間で移動するように構

成されれば、3ミラー画素が製造される。

【0022】多相空間的光変調器(MPSLM)の製造は、下部のCMOS回路の構成から始められる。これは、DMD投写ディスプレイに用いられる、「標準的」DRAMまたはSRAMアレイでありうる。しかし、MPSLMに対しては、画素はアクロ画素を形成するためにグループ形成されているものと考えられうる。これは、物理的なグループ形成ではなく、動作上のグループ形成である。物理的アレイは、DRAMまたはSRAMアドレスアレイと同じである。

【0023】次に、アドレス回路の製造に続いて、米国特許第5,083,857号に開示されている改変された「隠れヒンジDMD」工程の流れにより、ミラーの下部構造が構成される。「隠れヒンジDMD」の工程および構造は、改変されていない素子に対する位相変化を導入するために、隣接ミラー素子に対して次に層を付加することによって改変される。「隠れヒンジDMD」工程の流れは、本発明の実施例に相違するが、本発明は、光変調のための多くの他の方法および構造に対しても適用される。

【0024】図9aにおいては、基板76が準備されて、金属層が形成され、かつパターン形成されて、下部のCMOSアドレス回路と電気的に導通する支持バイアス(via)およびアドレス電極80のためのベースパッド78を与える。上述のように、この下部CMOSアドレス回路は、DRAMまたはSRAMアドレスアレイと同様のものでありうる。

【0025】次に図9bにおいては、ミラー72または74の移動を制御するために停止部材を製造しなくてはならない。好ましい製造方法は、ミラー72または74の下にくる電極80上に直接1つまたはそれ以上の停止部材82を設置することである。このステップは、好ましくは低温プラズマ酸化物デポジション(好ましくは5000Å未満のもの)を含む。次に、停止部材82はパターン形成されてエッチングされる。

【0026】図9cは、第1スペーサ層84が付着せしめられてパターン形成された後の、実施例のDMDを示す。第1スペーサ層84は、電極および停止部材が作る地形を平坦化するためにスピン塗布される。全スペーサ層84の厚さ(Tsp)は、停止部材82の高さ(Tsp)と、入射する照明の $1/4$ 波長の奇数倍( $m\lambda/4$ 、 $m$ は奇数)との和に等しい必要がある。このようにして、梁104および106(図示されていない。図9e参照)と、梁104および106上に構成されたミラー72および74(図示されていない。図8参照)とは、第1スペーサ層84( $L=m\lambda/4=Tsp-Tst$ 、 $m$ は奇数)の後の除去により、ヒンジ素子96、98(図示されていない。図9e参照)と、誘電体停止部材82の頂部との間に残される選択された距離Lを経て偏向する。従って、全第1スペーサ層84の厚さ(T

s p)は、偏向していないミラーから反射された光と、選択された距離 $l$  ( $l = m\lambda/4$ ,  $m$ は奇数)を経て偏向した同じミラーから反射された光との間の光路長差が $m\pi/2$  ( $m$ は奇数)になるように形成されている。本発明の実施例においては、 $6328\text{Å}$ の照明を仮定している。ミラー間の光路長差を $m\pi$  ( $m$ は奇数)にするためには、ミラーは $m\lambda/4$ すなわち $1582\text{Å}$ 、 $4746\text{Å}$ 、 $7910\text{Å}$ 、等だけ移動しなくてはならない。実施例においては、 $4746\text{Å}$ の偏向のために $m=3$ が選択される。好ましくは、第1スペーサ層の厚さは $6200\text{Å}$ とされるので、酸化物停止部材82の好ましい厚さは $1454\text{Å}$ となる。次に、第1スペーサ層84には、パイアパッド78上に形成されるヒンジ支持パイアの空所86がパターン形成され、かつUV硬化される。

【0027】次に、図9dにおいて、「隠れヒンジ」下部構造が製造される。第1スペーサ層84上に、薄いヒンジアルミニウム合金88がスパッタされ、ヒンジアルミニウム88上に低温プラズマ酸化物が付着せしめられてパターン形成されることにより、埋込みヒンジのエッチストップ90が形成される。

【0028】図9eにおいては、梁アルミニウムが付着せしめられ、その上にもう1つの低温プラズマ酸化物層が付着せしめられてパターン形成されることにより、埋込みヒンジのエッチストップ90と同様にして梁アルミニウムのエッチストップ94が形成される。次に、アルミニウムのエッチングが行なわれて、梁アルミニウムのエッチストップ94により覆われていない領域の梁アルミニウムと、ヒンジアルミニウムのエッチストップ90により覆われていないヒンジアルミニウム88とをクリーニングする。このようにして、第1ヒンジ素子96が形成され、1つまたはそれ以上の第2ヒンジ素子98が形成され、1つまたはそれ以上の第1ヒンジ素子支持体100が形成され、1つまたはそれ以上の第2ヒンジ素子支持体102が形成され、第1梁素子104が形成され、また第2梁素子106が形成される。さらにプラズマエッチングを用いて酸化物マスク90および94が除去されるが、それはスペーサをエッチングしないように選択的に行われなくてはならない。通常のDMD工程の流れとは異なり、隠れヒンジの酸化物の除去後に第1スペーサ層84の除去は行なわれない。

【0029】次に、図9fにおいて、第2スペーサ層108がスパイン塗布される。第2スペーサ層118は、ミラー72および74が偏向した時にミラーがヒンジ支持体102および104に当たらないように、十分な深さをもたなくてはならない。実施例においては、ミラーの偏向距離は $4746\text{Å}$ であるから、好ましいスペーサの厚さは $6200\text{Å}$ あれば十分である。次に、梁104、106上にミラー支持パイアの空所110がパターン形成され、かつUV硬化される。

【0030】次に、図9gにおいて、ミラーアルミニウ

ム112が付着せしめられ、さらに低温プラズマ酸化物が付着せしめられてエッチングされることにより「隠れミラー」アルミニウムエッチマスク114が形成される。

【0031】図9hにおいては、休止ミラー間の位相差の与えるための追加のアルミニウム層116が付着せしめられる。アルミニウム116の厚さは、反射に際しての休止ミラー間の光路差が $n\lambda/4$  ( $n$ は奇数)になるように、 $n\lambda/8$ に等しい必要がある。好ましい、 $\lambda = 6328\text{Å}$ の入射光に対しては、この厚さは、 $791\text{Å}$ 、 $2373\text{Å}$ 、 $3955\text{Å}$ 、 $5537\text{Å}$ 、等でありうる。好ましくは、アルミニウム116の厚さは、 $n=3$ に対する $2373\text{Å}$ とする。再び酸化物が付着せしめられてエッチングされることにより、第1ミラー72に対するアルミニウムエッチマスク118が形成される。第1ミラー72の全アルミニウムは、エッチマスク118によって保護されている。好ましくはプラズマエッチングである後のエッチングは、第2ミラー74上の酸化物マスク114までエッチングし、第2ミラー74の表面から余分な $n\lambda/8$ のアルミニウムを除去する。

【0032】次に、図9iにおいて、半導体ウェハ(図示されていない)が、通常のようにのこ引きされて下部を切取られる。酸化物マスク114および118が除去され、スペーサ層84および108が除去されて、同じ変形可能な下部構造により支持された位相ミラー72および74からの2つが残される。

【0033】図10は、DMDのマクロ素子70の平面(頂面)図を示す。図9aから図9iまでが作られた断面の位置も示されている。隠れたヒンジ構造を用いると、表面領域の大部分が実際にミラー素子72および74となることに注意すべきである。このようにして、「隠れヒンジ」構造はかなり効率的となり、多くの入射光エネルギーを変調する。

【0034】図11は、DMDのマクロ素子70の斜視図である。図12は、実施例のDMDを用いた光信号プロセッサ200のブロック図である。そこに示されている実施例の光信号プロセッサは、光相関器である。以下に説明される光相関器の動作は典型的なものである。本発明のDMDは、多くの形式の構造において利用される。本発明の範囲には、説明されたものとは異なり、しかも特許請求の範囲内にある実施例もまた含まれることを理解すべきである。

【0035】光信号プロセッサ200においては、コヒーレント光源202がコヒーレント光204で光透過/反射素子206を照明する。光素子206は、光源202からの光を実施例のDMD70(図示されていない。図9参照)の第1アレイ208上へ実質的に反射する。この第1アレイ208は、入力イメージセンサ210によって与えられた入力画像を有する。この画像は、第1アレイ208により光信号204上に変調で乗せられ、

10

20

30

40

50



この変調された光212は光素子206に向けて送られる。光素子206は、変調された光202の実質的な量を、レンズ214へ向かって通過せしめる。レンズ214は、本技術分野において公知のように、変調された光212に対してフーリエ変換を行ない、実施例のDMD70（図示されていない。図9参照）の第2アレイ218へ向かって送られる空間的周波数光信号216を生ぜしめる働きを有する。この第2アレイ218は、フィルタデータベース220により与えられた選択されたフィルタ画像を有する。第2アレイ218は、そのフィルタ画像により空間的周波数光信号216を変調して、フィルタされた信号222をレンズ214へ向けて送る。レンズ214は、本技術分野において公知のように、フィルタされた信号222の逆フーリエ変換を行ない、出力相関信号224を生じる。この出力相関信号は、次に光素子206によって実質的に反射されてCCDイメージャ226へ向けて送られ、CCDイメージャ226は光相関マップ228出力する。光相関マップ228は、本技術分野において公知のように、入力画像とフィルタ画像との間の相関度、および入力画像内におけるフィルタ対象物の位置を示す。実施例においては、光源202はコヒーレント光204を出力するレーザダイオードである。好ましくは、光素子206は、1つの偏りを有する光を反射し、他の偏りを有する光を透過する働きをもつものとする。光素子206を通過するさまざまな光信号は、光素子206によって反射されるか、または透過されるために必要な偏りを、必要に応じて与えられる。レンズ214は、単または多レンズ系でありうる。

【0036】実施例のDMD70においては、ミラー72およびミラー70は等しい量だけ偏向せしめられる。これらのミラーに代わりうる別のミラーは、相異なる移動距離を有しうる。好ましくは、スペーサ層84および108は、ウェハのこの引き続きおよび下部切取りの後に、完全に除去される。あるいは、これらの層84および108は、梁104および106の製造後の任意の時点において除去されうる。実施例においては、金属パイアがヒンジ/梁層96/104と、ミラー72および74とを支持する。あるいは、ホトレジストスペーサ84、108を選択的にエッチングしてこれらの領域に支持パイアとして残してもよい。好ましい金属構造はアルミニウムから構成されるが、チタン、金、ニッケル、または他の金属または金属合金など、別の金属も使用されうる。好ましい製造方法および構造は、米国特許第5,083,857号に開示されている「隠れヒンジ」工程に基づく。本技術分野に習熟した者ならば、この特許の明細書および特許請求の範囲を検討すれば、多くの他の構造および製造方法が明らかになるはずである。実施例においては、停止部材82は絶縁性停止部材として説明されたが、デバイスの構造がミラーの偏向によらずに電氣的絶縁を保持するようになっている限り、適切な耐久

性を有する任意の材料が使用されうる。下部の回路は、DRAMまたはSRAM形の構造のものが好ましいが、電荷結合デバイス(CCD)または他の形式の回路も、所望されるパフォーマンスの形式によってはその機能を行ないうる。

【0037】実施例は、2ミラーマクロ素子を含んでいた。3ミラー（またはそれ以上の）マクロ素子に対しては、工程の流れは以下のように拡張されうる。

【0038】図9aから図9gまでは、第3ミラーに対する電極まよび隠れヒンジの下部構造が含まれることを除外すれば、同様に進行する。

【0039】図9hにおいては、3ミラーデバイスの場合は、最初の2ミラー間の反射に際しての光路差が、 $m = 1, 4, 7$ 等として $m\pi/3$ になるように、アルミニウム膜116の厚さを修正しなくてはならない。すなわち、膜の厚さは $m\pi/6$ ラジアンまたは $m\lambda/12$ でなくてはならない。実施例においては、6328Åの照明に対して、これは527Å、2110Å、3692Å、等に相当する。実施例においては、 $m = 4$ に対する2110Åの厚さのアルミニウム膜116が使用されうる。

【0040】図9hにおいては、さらに第3ミラーに対し、追加のアルミニウムのデポジションおよび酸化物マスクのデポジションが必要となる。これらの層は、アルミニウム膜116および酸化物マスク118と同様に形成される。好ましくは、アルミニウム膜は、第2ミラーと第3ミラーとの間にさらに $4\pi/3$ ラジアンの反射光路差を与えるために2110Åとする。図9iに関連する説明中の新工程は、図9iの前の説明におけると同じである。

【0041】以上においては実施例を2進アドレッシング構成を用いて説明してきたが、代わりに、2進アドレッシングにおいて可能であるよりも多くの位相状態を可能ならしめうる3進アドレッシング構成を得るために、DMDの3安定動作を用いるべくDMDをバイアスすることもできる。

【0042】以上においては、いくつかの実施例を詳細に説明した。説明された実施例とは異なり、しかも特許請求の範囲内に含まれる実施例もまた本発明の範囲に含まれることを理解すべきである。本発明は実施例に関して説明されたが、この説明は限定的な意味のものと解釈されるべきではない。実施例のさまざまな改変および組合せ、および本発明の他の実施例は、本技術分野に習熟した者にとっては、以上の説明を参照すれば明らかになるはずである。従って、いかなるそのような改変または実施例も、特許請求の範囲に含まれるように考慮されている。

【0043】以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

(1) 少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる少なくとも2つの変調素子を有する画素を配



設するステップと、少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる前記少なくとも2つの変調素子をアドレス指定し、それによって該変調素子が該少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチした時該変調素子に入射する光が不連続的な位相変化を受けるようにするステップと、前記少なくとも2つの変調素子からの光を、少なくとも3つの独自の位相を有する単一の応答に解像するステップと、を含む、画素のアレイを用いる多相光変調の方法。

【0044】(2) 前記少なくとも2つの変調素子をアドレス指定するステップが、該少なくとも2つの変調素子に入射した光をして前記アドレス指定可能状態間における2進的位相変化を受けしめる2進アドレス指定のステップである、第1項記載の方法。

【0045】(3) 前記少なくとも2つの変調素子が、それらのそれぞれのアドレス電極に印加されたアドレス電圧にตอบสนองして垂直方向に並進せしめられる可動反射素子である、第1項記載の方法。

【0046】(4) 前記少なくとも2つの可動反射素子の少なくとも1つが、選択された光の波長の $1/4$ の奇数倍だけ垂直方向に並進せしめられ、それによって、該少なくとも1つの垂直方向に並進せしめられた反射素子と、垂直方向に並進せしめられない反射素子と、からの反射光間に $\pi$ ラジアン位の位相差が存在する、第3項記載の方法。

【0047】(5) 前記少なくとも2つの可動反射素子が、選択された光の波長の $1/8$ の奇数倍だけ垂直方向に差を与えられ、それによって、該少なくとも2つの可動反射素子の1つと、該少なくとも2つの可動反射素子のもう1つと、からの反射光間に $\pi/2$ ラジアン位の位相差が存在する、第3項記載の方法。

【0048】(6) 前記変調素子が、アドレス電圧にตอบสนองしてねじられる結晶方向を有する液晶である。第1項記載の方法。

【0049】(7) 少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第1変調素子と、該第1変調素子に隣接する、少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第2変調素子であって、該第2変調素子に入射した光と、前記第1変調素子に入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように形成された前記第2変調素子と、前記両変調素子を物理的に変化せしめることにより、該両変調素子の前記少なくとも2つのアドレス指定可能状態に対応する不連続的な位相変化を生ぜしめうる下部に存在するアドレス指定回路と、を含む画素を有する多相光変調器。

【0050】(8) 前記第1変調素子に隣接する、少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第3変調素子であって、該第3変調素子に入射した光と、前記第1変調素子に入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように形成された前記第

3変調素子と、前記第2および第3変調素子に隣接し、かつ前記第1変調素子の対角線の反対位置にある、少なくとも2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる第4変調素子であって、該第4変調素子に入射した光と、前記第2および第3変調素子に入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように形成された前記第4変調素子と、をさらに含む、第7項記載の変調器。

【0051】(9) 前記変調素子が2つのアドレス指定可能状態間でスイッチしうる、第7項記載の変調器。

(10) 前記少なくとも2つの変調素子が、それらのそれぞれのアドレス電極に印加されたアドレス電圧にตอบสนองして垂直方向に並進せしめられる可動反射素子である、第7項記載の変調器。

【0052】(11) 前記少なくとも2つの可動反射素子の少なくとも1つが、選択された光の波長の $1/4$ の奇数倍だけ垂直方向に並進せしめられ、それによって、該少なくとも1つの垂直方向に並進せしめられた反射素子と、垂直方向に並進せしめられない反射素子と、からの反射光間に $\pi$ ラジアン位の位相差が存在する、第10項記載の変調器。

【0053】(12) 前記少なくとも2つの可動反射素子が、選択された光の波長の $1/8$ の奇数倍だけ垂直方向に差を与えられ、それによって、該少なくとも2つの可動反射素子のもう1つと、該少なくとも2つの可動反射素子のもう1つと、からの反射光間に $\pi/2$ ラジアン位の位相差が存在する、第10項記載の変調器。

【0054】(13) 前記変調素子が、アドレス電圧にตอบสนองしてねじられる結晶方向を有する液晶である、第7項記載の変調器。

【0055】(14) 基板を準備するステップと、該基板上に2進アドレス指定回路を形成するステップと、第1梁素子が2安定アドレス指定可能状態を有するように、前記2進アドレス指定回路に電気的に結合せしめられた該第1梁素子を形成するステップと、第2梁素子が2安定アドレス指定可能状態を有するように、前記2進アドレス指定回路に電気的に結合せしめられ、前記第1梁素子に隣接した該第2梁素子を形成するステップと、前記第1梁素子上に第1ミラーを形成するステップと、第2ミラーに入射した光と、前記第1ミラーに入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように、前記第1ミラーから垂直方向に差を与えられている前記第2ミラーを、前記第2梁素子上に形成するステップと、を含む、入射光を変調するための可動ミラー素子を有する変形可動ミラーデバイス(DMD)の形成方法。

【0056】(15) 2進アドレス指定回路を有する基板を準備するステップと、該基板上にあり、かつ該2進アドレス指定回路に結合せしめられている第1ベースパッドを形成するステップと、前記基板上にあり、かつ前

10

20

30

40

50

記2進アドレス指定回路に結合せしめられており、前記第1ベースパッドとは電氣的に導通していない第2ベースパッドを形成するステップと、前記基板上にあり、かつ前記2進アドレス指定回路に結合せしめられている第1アドレス電極を形成するステップと、前記基板上にあり、かつ前記2進アドレス指定回路に結合せしめられており、前記第1アドレス電極とは電氣的に導通していない第2アドレス電極を形成するステップと、前記第1ベースパッドと接触して電氣的に導通しており、かつエアギャップを介して前記第1アドレス電極上にある第1ヒンジを形成するステップと、前記第2ベースパッドと接触して電氣的に導通しており、かつエアギャップを介して前記第2アドレス電極上にある第2ヒンジを形成するステップと、前記第1ヒンジ上に、これと電氣的に導通する第1梁素子を形成するステップと、前記第2ヒンジ上に、これと電氣的に導通する第2梁素子を形成するステップと、前記第1梁素子上に第1ミラーを形成するステップと、第2ミラーに入射した光と、前記第1ミラーに入射してその作用を受けた光と、の間に位相差を生ぜしめるように、前記第1ミラーから垂直方向に差を与えられている前記第2ミラーを、前記第2梁素子上に形成するステップと、を含む、入射光を変調するための可動ミラー素子を有する変形可能ミラーデバイス(DMD)の形成方法。

【0057】(16) 入射光を変調するための可動ミラー素子を有するDMDの形成方法であって、該方法が、2進アドレス指定回路を有する基板を準備するステップと、該基板上に金属層を形成するステップと、該金属層をパターン形成してヒンジ支持パイアのためのベースパッドを配設するステップと、前記可動ミラー素子の移動を制御する停止部材を形成するステップと、第1スペーサ層を形成するステップと、該第1スペーサ層をパターン形成して該第1スペーサ層内にヒンジ支持パイアの空所を形成するステップと、前記第1スペーサ層上および前記ヒンジ支持パイアの空所上にヒンジ金属を形成するステップと、該ヒンジ金属上に埋込みヒンジエッチストップを形成するステップと、該埋込みヒンジエッチストップをパターン形成するステップと、前記ヒンジ金属および前記埋込みヒンジエッチストップ上に梁金属を形成するステップと、該梁金属上に梁金属エッチストップを形成するステップと、該梁金属エッチストップをパターン形成するステップと、該梁金属エッチストップにより覆われていない領域内の前記梁金属を除去するステップと、前記ヒンジエッチストップにより覆われていない領域内の前記ヒンジ金属を除去するステップと、第2スペーサ層を形成するステップと、該第2スペーサ層をパターン形成してミラー支持パイアの空所を形成するステップと、第1ミラー金属層を形成するステップと、第1ミラーエッチストップを形成するステップと、該第1ミラーエッチストップをパターン形成することにより該第

1ミラーエッチストップが第1ミラー領域上にあるようにするステップと、第2ミラー金属層を形成するステップと、第2ミラーエッチストップを形成するステップと、該第2ミラーエッチストップをパターン形成することにより該第2ミラーエッチストップが第2ミラー領域上にあるようにするステップと、前記第2ミラーエッチストップの下にない領域内の前記第2ミラー金属層を除去するステップと、前記第1ミラーエッチストップまたは前記第2ミラーエッチストップの下にない領域内の前記第1ミラー金属層を除去するステップと、前記第1および第2スペーサ層を除去するステップと、を含む、入射光を変調するための可動ミラー素子を有するDMDの形成方法。

【0058】(17) 2進アドレス指定回路を有する多相変形可能ミラーデバイスのアレイを含む光信号プロセッサ装置。

【0059】(18) 2進アドレス指定回路を有する多相変形可能ミラーデバイスのアレイを含む光相関器装置。

【0060】(19) 少なくとも2つの変調素子22、24を有する画素20を配設するステップを含む、多相光変調の方法。該方法はさらに、前記少なくとも2つの変調素子22、24をアドレス指定することにより、該アドレス指定された素子に入射した光をしてアドレス指定可能状態間における不連続的位相変化を受けしめるステップを含む。前記方法はさらに、前記少なくとも2つの変調素子22、24からの光を、少なくとも3つの独自の位相を有する応答に解像するステップを含む。他のデバイス、装置、および方法もまた開示される。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例の2素子多相空間的光変調器(MPSLM)の平面図。

【図2】図1の変調デバイスにおいて得られる位相図。

【図3】実施例の4素子MPSLMの平面図。

【図4】図3の変調デバイスにおいて得られる位相図。

【図5】実施例の3素子MPSLMの平面図。

【図6】図5の変調デバイスにおいて得られる位相図。

【図7】別の実施例の2素子MPSLMの平面図。

【図8】実施例のMPSLMの部分断面図。

【図9】aからhまでは、実施例のMPSLMの相次ぐ処理ステップの後における部分断面図。

【図10】細い点線で示された下部の「隠れヒンジ」および梁構造を有する実施例のMPSLMの平面図。

【図11】実施例のMPSLMの斜視図。

【図12】実施例のMPSLMのアレイを組込んだ光信号プロセッサのブロック図。

【符号の説明】

20 画素

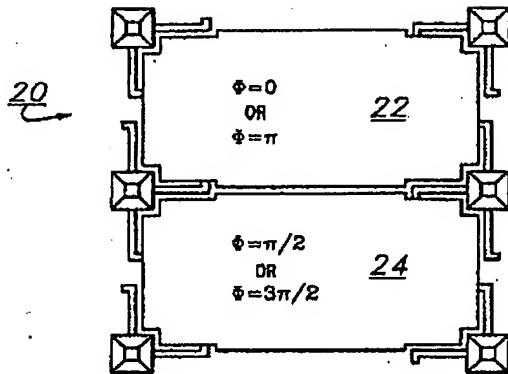
22 第1変調素子

24 第2変調素子

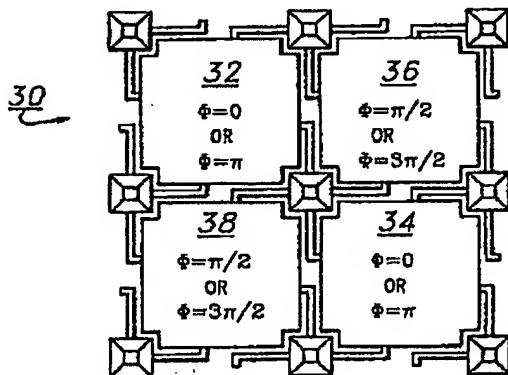
- 30 画素  
32 第1変調素子  
34 第4変調素子

17

【図1】



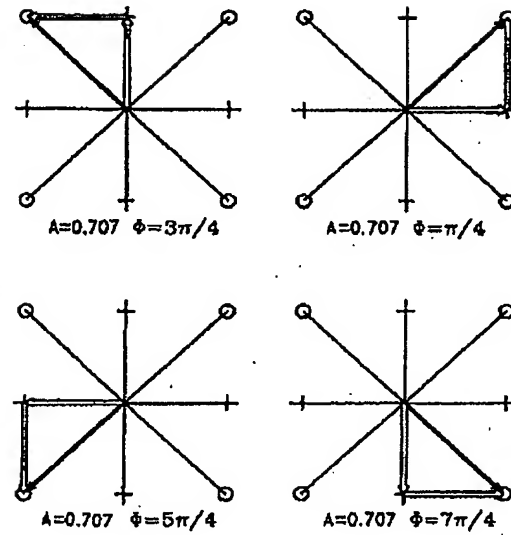
【図3】



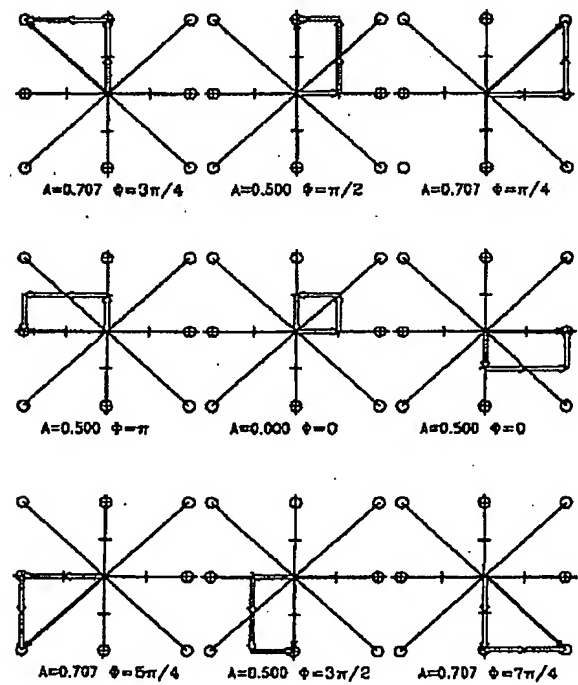
- \* 36 第2変調素子  
38 第3変調素子

\*

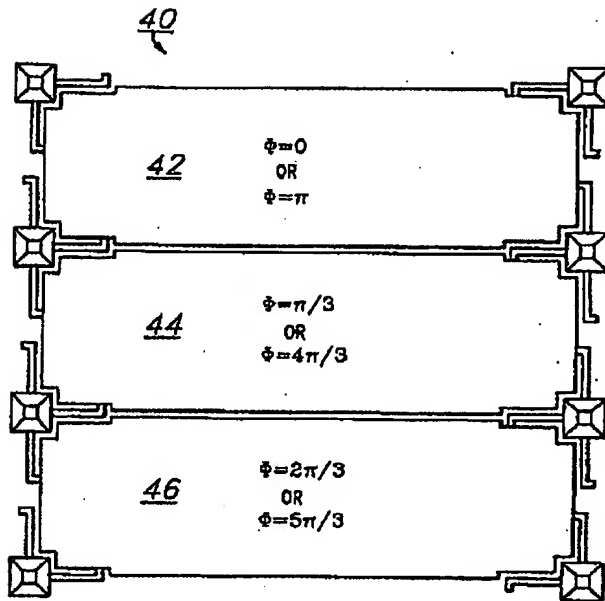
【図2】



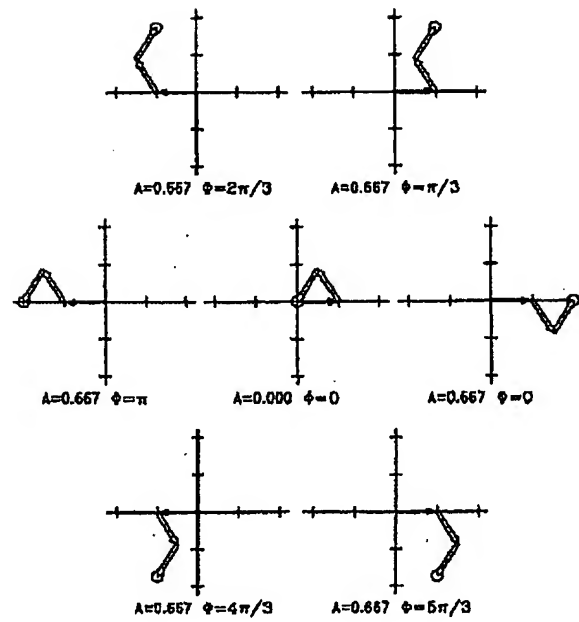
【図4】



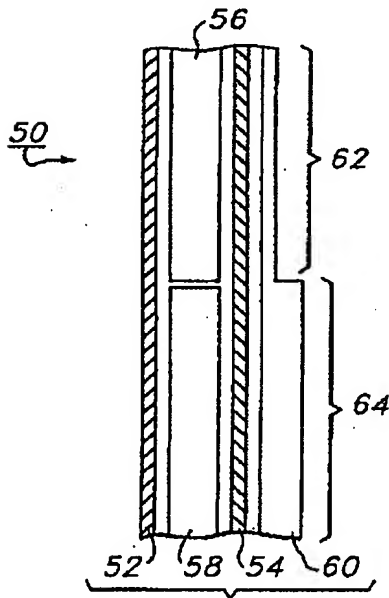
【図5】



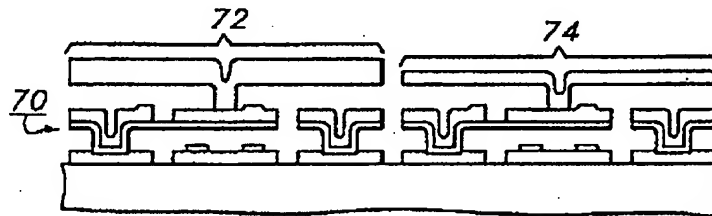
【図6】



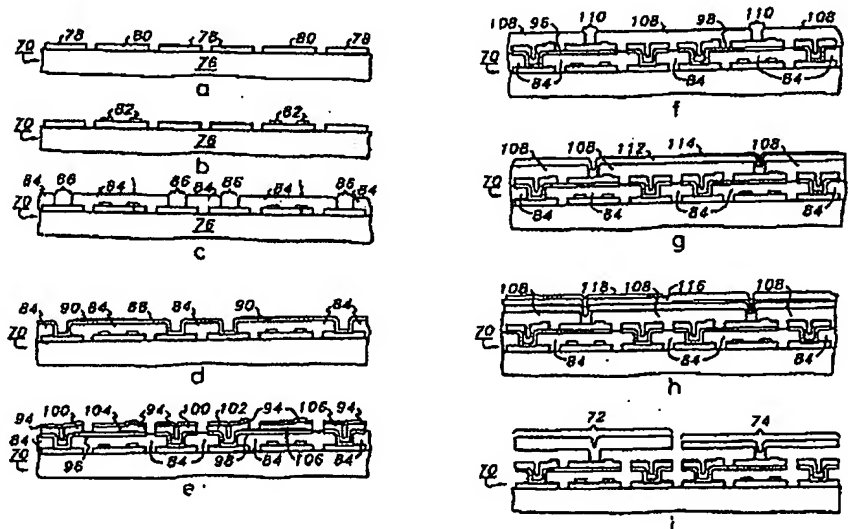
【図7】



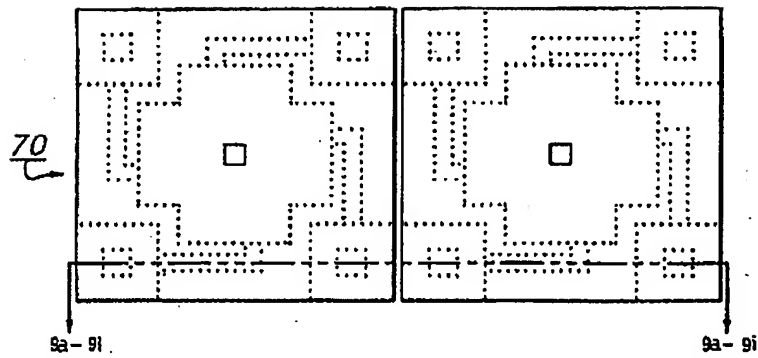
【図8】



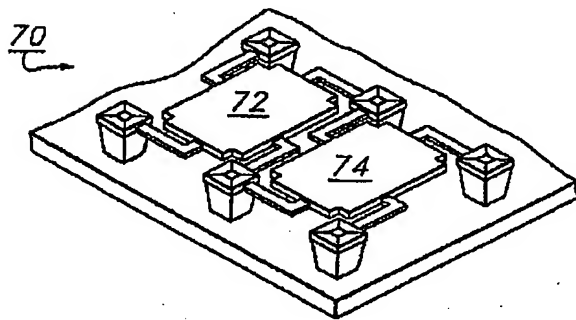
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

